

SKRIPSI - ME 141501

PERANCANGAN KONSTRUKSI DAN STRUKTUR LAYAR FOIL UNTUK PERAHU LAYAR

YUSTINUS HENDRO RAHARJO
NRP 4211 100 074

Dosen Pembimbing :
Irfan Syarif Arif ST. MT
NIP. 196912251997021001

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - ME 141501

DESIGN OF CONSTRUCTION AND STRUCTURE WINGSAIL FOR SAILBOAT

YUSTINUS HENDRO RAHARJO
NRP 4211 100 074

Consulting Lecturer :
Irfan Syarif Arif ST. MT
NIP. 196912251997021001

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Ocean Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN KONSTRUKSI DAN STRUKTUR LAYAR FOIL UNTUK PERAHU LAYAR

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YUSTINUS HENDRO RAHARJO

NRP. 4211 100 074

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Irfan Syarif Arief, ST, MT
NIP. 196912251997021001

()

SURABAYA
JANUARI, 2016

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN KONSTRUKSI DAN STRUKTUR LAYAR FOIL UNTUK PERAHU LAYAR

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YUSTINUS HENDRO RAHARJO

NRP. 4211 100 074

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



Dr.Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 197708022008011007

SURABAYA

JULI, 2016

PERANCANGAN KONSTRUKSI DAN STRUKTUR LAYAR FOIL UNTUK PERAHU LAYAR

Nama Mahasiswa : Yustinus Hendro Raharjo
NRP : 4211 100 074
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarif Arief, ST, MT

Abstrak

1. Para nelayan harus menyesuaikan arah angin ketika mereka harus berlayar mencari ikan, siklus angin ini menjadi kendala bagi para nelayan, mereka tidak dapat menentukan kapan mereka harus pergi berlayar, maka dari itu diperlukan desain layar yang mampu mengatasi masalah tersebut. Hal ini yang mendasari penulisan Tugas Akhir ini untuk mendapatkan desain konstruksi dan struktur layar yang baik. Desain layar menggunakan NACA 0015 pada bagian depan dan NACA 0009 pada bagian belakang. Sudut serang layar terhadap gaya sebesar 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , dan 90° . Lalu simulasi di *software 3D* dan didapatkan hasil berupa *Stress*, *Deformation*, dan *Factor of Safety* pada masing-masing sudut serang. Dari hasil percobaan layar foil yang menggunakan NACA 0015 dan NACA 0009 didapatkan bahwa sudut serang 90° memiliki nilai *strees*, *deformation* terbesar dan nilai *safety of factor* yang kecil. NACA 0015 mempunyai nilai tegangan maksimal hingga $41.972,84 \text{ N/m}^2$, nilai perubahan bentuk (*deformation*) maksimal hingga $1,207 \text{ mm}$, dan nilai *safety of factor* minimal $1.429\text{e}+005^{\circ}$. NACA 0009 mempunyai nilai tegangan maksimal hingga $49.180.144 \text{ N/m}^2$, nilai perubahan bentuk (*deformation*) maksimal hingga $4,139 \text{ mm}$, dan nilai *safety of factor* minimal $1.220\text{e}+002$.

Kata kunci : *perancangan, layar foil, stress, deformation, safety of factor, software 3D.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN OF CONSTRUCTION AND STRUCTURE WINGSAIL FOR SAILBOAT

Name : Yustinus Hendro Raharjo
NRP : 4211 100 074
Department : Marine Engineering
Supervisor : 1. Irfan Syarif Arief, ST, MT

Abstract

1. The fishermen have to adjust the direction of the wind when they had to sail for fishing, wind cycle is an obstacle for the fishermen, they can not determine when they need to go sailing, and therefore required the design of a sail that is able to resolve the issue. This underlying this final project to obtain construction and structural design of a good sail. Design sails using NACA 0015 at the front and at the back of the NACA 0009. Angle of attack display against a force of 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, and 90°. Then in the 3D software simulation and the results obtained in the form of Stress, Deformation, and Factor of Safety on each angle of attack. From the experimental results using screen foil NACA 0015 and 0009 found that the attack angle 90° has a value stress, the greatest deformation and the value of safety of a small factor. NACA 0015 has a maximum rated stress of up to 41972.84 N/m², the value of deformation up to a maximum of 1,207 mm, and the value of the minimum factor of safety of 1.429e + 005. NACA 0009 has a maximum stress value of up to 49,180,144 N / m², the value of deformation up to a maximum of 4.139 mm, and the value of the minimum factor of safety of 1.220e + 002.

Key Words : *Desaign, sail, stress, deformation, safety of factor, software 3D.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Jenis Penggerak Kapan Tenaga Angin.....	5
2.2. Laya Foil/ <i>Wingsail</i>	6
2.3. Bagian Layar Foil (Single <i>Wingsail</i>).....	8
2.4. NACA 4 Digit Geometri.....	10
2.5. Metode Element Hingga (<i>Finite Element Method</i>).....	12
2.6. Gaya Melalui Sebuah Titik.....	13
2.7. Gaya-Gaya Sejajar.....	16
2.8. Gaya-Gaya Berarah Sembarang.....	17
2.9. Beban.....	18
2.10. Gaya Reaksi.....	19
2.11. Tegangan.....	21
2.12. Regangan.....	22
2.13 <i>Software 3D</i>	23
2.14. <i>Pressure Contour Model CFD</i>	24

BAB III METODOLOGI.....	25
3.1. Flow Chart.....	25
3.2. Prosedur Pelaksanaan.....	26
3.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	26
3.2.2. Studi Literatur.....	26
3.2.3. Pengumpulan Data.....	26
3.2.4. Merancang Konstruksi Layar Foil.....	27
3.2.5. Simulasi <i>Software 3D</i>	27
3.2.6. Pembahasan dan Analisa.....	27
3.2.7. Kesimpulan.....	28
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Pengumpulan Data.....	29
4.2. Perancangan Konstruksi Layar Foil.....	30
4.3. Simulasi <i>Software 3D</i>	48
4.4. Pembahasan Hasil Simulasi.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	95
5.1. Kesimpulan.....	95
5.2. Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA.....	97
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Softsail.....	5
Gambar 2.2 Wingsail.....	5
Gambar 2.3 Flettener Rotor (kiri) dan Turbin Power (kanan).....	6
Gambar 2.4 Single Wingsail.....	7
Gambar 2.5 Tandem Device.....	7
Gambar 2.6 Konstruksi “Full Airfoil Sail” menurut H. Keeler.....	8
Gambar 2.7 Konstruksi Ribs “Full Airfoil Sail” menurut H. Keeler.....	9
Gambar 2.8 Knstruksi Tiang Utama “Full Airfoil Sail” menurut H. Keeler..	9
Gambar 2.9 Geometri Airfoil.....	10
Gambar 2.10 Gaya Melewati Sebuat Titik.....	14
Gambar 2.11 Penyelesaian dari Gambar 2.10.....	15
Gambar 2.12 Gaya Sejajar.....	16
Gambar 2.13 Gaya Berarah Sembarang.....	17
Gambar 2.14 Sendi/engsel.....	20
Gambar 2.15 Lereng.....	20
Gambar 2.16 Bantang Tumpuan.....	20
Gambar 2.17 Jepitan.....	21
Gambar 2.18 Pressure Contour Model 3 dan 3.....	24
 Gambar 3.1 Diagram alur penelitian.....	 25
 Gambar 4.1 Simulasi di software CFD.....	 29
Gambar 4.2 Bentuk Layar Bagian Depan.....	31
Gambar 4.3 Bentuk Layar Bagian Belakang.....	32
Gambar 4.4 Tulang Rusuk Layar Foil Naca 0015.....	33
Gambar 4.5 Diameter Lubang Tulang Rusuk.....	34
Gambar 4.6 Tebal Tulang Rusuk Layar Foil.....	34
Gambar 4.7 Tinggi Layar Foil.....	35
Gambar 4.5 Tiang.....	36
Gambar 4.6 Profile Diameter Tiang Utama dan Tiang Penyangga.....	37

Gambar 4.7 Pondasi.....	38
Gambar 4.8 Layar Foil Bagian Depan.....	39
Gambar 4.9 Tulang Rusuk Layar Foil Naca 0009.....	40
Gambar 4.10 Diameter Lubang Tulang Rusuk.....	41
Gambar 4.11 Tebal Tulang Rusuk.....	41
Gambar 4.12 Tinggi Layar Foil.....	42
Gambar 4.13 Tiang Utama.....	43
Gambar 4.14 Diameter luar tiang utama.....	44
Gambar 4.15 Diameter dalam tiang utama.....	44
Gambar 4.16 Diameter luar tiang penunjang.....	45
Gambar 4.17 Diameter dalam tiang penunjang.....	45
Gambar 4.18 Pondasi.....	46
Gambar 4.19 Layar Foil Bagian Belakang.....	47
Gambar 4.20 Fixed dan External Load.....	50
Gambar 4.21 Meshing NACA 0015.....	52
Gambar 4.22 Meshing NACA 0009.....	53
Gambar 4.23 Stress NACA 0015 Sudut Serang 5°.....	54
Gambar 4.24 Stress NACA 0015 Sudut Serang 10°.....	55
Gambar 4.25 Stress NACA 0015 Sudut Serang 15°.....	55
Gambar 4.26 Stress NACA 0015 Sudut Serang 20°.....	56
Gambar 4.27 Stress NACA 0015 Sudut Serang 25°.....	56
Gambar 4.28 Stress NACA 0015 Sudut Serang 30°.....	57
Gambar 4.29 Stress NACA 0015 Sudut Serang 40°.....	57
Gambar 4.30 Stress NACA 0015 Sudut Serang 50°.....	58
Gambar 4.31 Stress NACA 0015 Sudut Serang 60°.....	58
Gambar 4.32 Stress NACA 0015 Sudut Serang 70°.....	59
Gambar 4.33 Stress NACA 0015 Sudut Serang 90°.....	59
Gambar 4.34 Stress NACA 0009 Sudut Serang 5°.....	61
Gambar 4.35 Stress NACA 0009 Sudut Serang 10°.....	61
Gambar 4.36 Stress NACA 0009 Sudut Serang 15°.....	62
Gambar 4.37 Stress NACA 0009 Sudut Serang 20°.....	62
Gambar 4.38 Stress NACA 0009 Sudut Serang 25°.....	63
Gambar 4.39 Stress NACA 0009 Sudut Serang 30°.....	63
Gambar 4.40 Stress NACA 0009 Sudut Serang 50°.....	64

Gambar 4.41 Stress NACA 0009 Sudut Serang 60°	64
Gambar 4.42 Stress NACA 0009 Sudut Serang 70°	65
Gambar 4.43 Stress NACA 0009 Sudut Serang 90°	65
Gambar 4.44 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 5°	67
Gambar 4.45 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 10°	68
Gambar 4.46 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 15°	68
Gambar 4.47 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 20°	69
Gambar 4.48 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 25°	69
Gambar 4.49 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 30°	70
Gambar 4.50 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 40°	70
Gambar 4.51 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 50°	71
Gambar 4.52 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 60°	71
Gambar 4.53 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 70°	72
Gambar 4.54 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 90°	72
Gambar 4.55 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 5°	74
Gambar 4.56 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 10°	74
Gambar 4.57 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 15°	75
Gambar 4.58 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 20°	75
Gambar 4.59 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 25°	76
Gambar 4.60 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 30°	76
Gambar 4.61 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 40°	77
Gambar 4.62 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 50°	77
Gambar 4.63 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 60°	78
Gambar 4.64 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 70°	78
Gambar 4.65 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 90°	79
Gambar 4.66 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 5°	80
Gambar 4.67 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 10°	81
Gambar 4.68 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 15°	81
Gambar 4.69 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 20°	82
Gambar 4.70 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 25°	82
Gambar 4.71 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 30°	83

Gambar 4.72 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 40°.....	83
Gambar 4.73 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 50°.....	84
Gambar 4.74 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 60°.....	84
Gambar 4.75 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 70°.....	85
Gambar 4.76 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 90°.....	85
Gambar 4.77 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 5°.....	87
Gambar 4.78 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 10°.....	88
Gambar 4.79 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 15°.....	88
Gambar 4.80 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 20°.....	89
Gambar 4.81 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 25°.....	89
Gambar 4.82 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 30°.....	90
Gambar 4.83 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 40°.....	90
Gambar 4.84 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 50°.....	91
Gambar 4.85 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 60°.....	91
Gambar 4.86 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 70°.....	92
Gambar 4.87 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 90°.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Besar Gaya yang Bekerja.....	29
Tabel 4.2 ukuran model layar di posisi depan.....	31
Tabel 4.3 ukuran model layar di posisi belakang.....	32
Tabel 4.4 Spesifikasi Properties S-Glass Fiber.....	48
Tabel 4.5 Gaya yang akan disimulasikan.....	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perahu layar merupakan alat transportasi yang terbuat dari kayu dan menggunakan layar sebagai penggerak utama dengan memanfaatkan energi angin. Sebelum adanya revolusi industri banyak masyarakat kuno menggunakan perahu untuk berpindah tempat dan mencari sumber daya alam yang terdapat di laut. Setelah adanya revolusi industri perlahan-lahan perahu mulai ditinggalkan dan beralih ke kapal baja dengan propusli mesin. Tetapi di Indonesia terutama nelayan Indonesia masih banyak menggunakan perahu layar guna mencari ikan di lautan.

Keberadaan perahu layar di Indonesia masih sangat penting dalam kehidupan para nelayan Indonesia, mereka selalu menjaga tradisi perahu layar ini dari masa ke masa.

Para nelayan harus menyesuaikan arah angin ketika mereka harus berlayar mencari ikan, siklus angin ini menjadi kenadala bagi para nelayan, mereka tidak dapat menentukan kapan mereka harus pergi berlayar, maka dari itu diperlukan desain layar yang mampu mengatasi masalah tersebut.

Namun penelitian mengenai layar sangat sedikit sehingga perlu adanya penelitian mengenai layar. Pada tugas akhir ini berisi tentang bagaimana perancangan kostruksi dan struktur layar foil untuk perahu layar. Dengan menggunakan layar berjenis foil diharapkan kapal ini mampu menghasilkan gaya dorong yang maksimal.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dijawab adalah:

1. Bagaimana merancang konstruksi dan struktur layar foil yang maksimal?

Batasan Masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Perancangan dilakukan menggunakan simulasi komputer dengan menggunakan metode *Software 3D*.
2. Permodelan layar menggunakan NACA series 0015 untuk bagian depan dan 0009 untuk bagian belakang.
3. Kecepatan angin yang diuji adalah 8 m/s
4. Tipe layar foil yang digunakan adalah tipe *Double Sail*
5. Analisa yang dilakukan adalah analisa statis pada konstruksi layar foil.
6. Biaya tidak dianalisa.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Merancang konstruksi dan struktur layar foil untuk penggerak perahu.
2. Mengetahui respon sistem dari rancangan layar foil dengan menggunakan *Software 3D*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Dapat merancang konstruksi dan struktur layar foil untuk penggerak utama perahu layar.
2. Sebagai referensi peneliti yang berhubungan dengan penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jenis Penggerak Kapal Tenaga Angin

Jenis dari penggerak kapal tenaga angin adalah:

1. Softsail

Softsail adalah layar yang menggunakan bahan *cotton*/ kain untuk menangkap angin sebagai tenaga penggerak perahu. [1]



Gambar 2.1 Softsail

2. Wingsail (Layar Foil)

Wingsail (layar foil) adalah bagian airfoil yang memiliki bentuk seperti pesawat terbang. [1]



Gambar 2.2 Wingsail

3. Mechanical Devices

Alat yang memanfaatkan tenaga angin dan kemudhian energinya digunakan untuk menggerakkan sistem propulsi kapal. Terdapat beberapa contoh dari *mechanical device* yaitu flettner rotor dan turbine. [1]



Gambar 2.3 Flettner Rotor (kiri) dan Turbin Power (kanan)

2.2. Layar Foil/ *Wingsail*

Layar foil merupakan bagian airfoil simetri yang dapat berotasi terhadap sumbu vertikalnya [wingsail pdf]. Layar foil ini dapat berputar sebesar 360° di titik sumbunya yang disebut dengan pusat aerodynamic, hal ini bertujuan agar layar foil dapat mengikuti arah angin yang selalu berubah ketika kapal sedang berbelok. [1]

Ada 2 jenis layar foil yaitu:

1. Single *Wingsail*

Jenis ini menggunakan layar foil tunggal sebagai penggerak kapal.



Gambar 2.4 Single Wingsail

2. Tandem Device

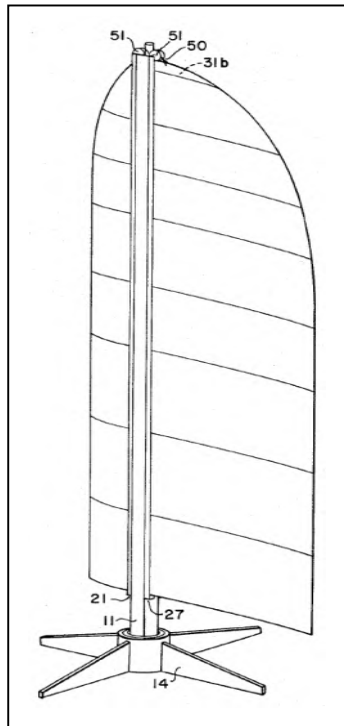
Adalah *wingsail* yang merupakan modifikasi dari single wingsail. Alat ini menggunakan dua atau lebih layar foil yang disusun secara berpasangan. Layar bagian depan biasanya memiliki ketebalan lebih dari pada layar belakangnya.



Gambar 2.5 Tandem Device

2.3. Bagian Layar Foil (Single Wingsail)

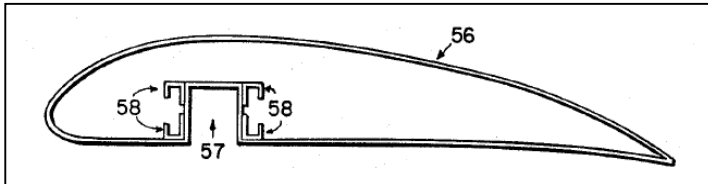
Bagian layar foil menurut Harry Keeler adalah sebagai gambar berikut;



Gambar 2.6 Konstruksi “Full Airfoil Sail”
menurut H. Keeler [2]

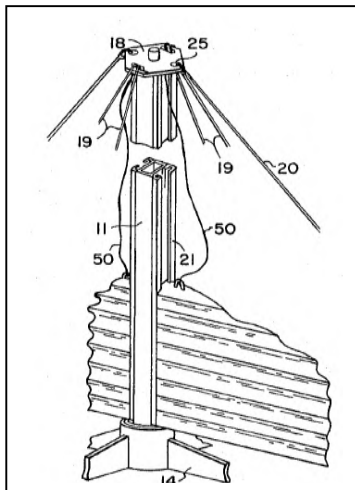
Gambar 2.6 diatas adalah gambar keseluruhan dari konstruksi *Full Airfoil Sail*. Terdapat bagian pondasi, tiang utama airfoil sail, dan garis-garis merupakan

tulang rusuk yang nantinya adalah gambar dari NACA series 0015.



Gambar 2.7 Konstruksi Ribs “Full Airfoil Sail” menurut H. Keeler [2]

Gambar 2.7 diatas adalah gambar dari tulang rusuk “Full Airfoil Sail”. Tulang rusuk tersebut nantinya akan menggunakan jenis NACA 0015.

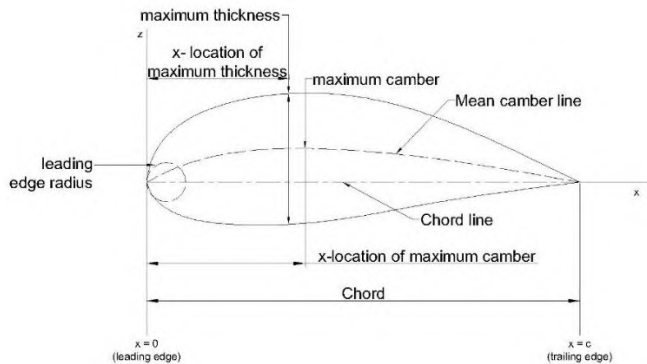


Gambar 2.8 Knstruksi Tiang Utama “Full Airfoil Sail” menurut H. Keeler [2]

Gambar 2.8 merupakan konstruksi tiang utama dan konfigurasi tali penguat yang dihubungkan ke deck dan mampu menggerakkan layar foil ini 360° ke segala arah.

2.4. NACA 4 Digit Geometri

Goemetri bentuk dari *wingsail*/layar foil berdasarkan dari bentuk NACA series. Dalam hal ini ada beberapa bentuk dari NACA dan ilustrasi dibawah merukapan bentuk dasar dari NACA series yang sertia seriesnya memiliki nilai konstanta dan variable yang berbeda.



Gambar 2.9 Geometri Airfoil [3]

NACA 4 digit merupakan salah satu jenis NACA series yang dikembangkan oleh *National Advisory Committee for Aeronautics*. Jenis ini memiliki parameter-parameter yang digunakan untuk menentukan geometri dari bentuk sayap yang akan digambar. Berikut adalah parameter yang digunakan:

1. Digit pertama adalah menggambarkan nilai maksimum camber (m) yang dihitung dari 1/100 dan panjang *chord* (c).

2. Digit kedua adalah menggambarkan letak dari maksimum *camber* (P) dari *leading edge* yang dihitung dari 1/10 dari panjang *chord* (c).

Setelah mengetahui parameter-parameter diatas, kemudian parameter tersebut akan menjadi acuan yang digunakan dalam persamaan-persamaan untuk mengetahui koordinat bentuk NACA yang dibuat. Berikut adalah persamaan yang digunakan:

$$\pm y_t = \frac{t}{0.2} \left(0.2969 \sqrt{x/c} - 0.1260 \left(\frac{x}{c} \right) - 0.3516 \left(\frac{x}{c} \right)^2 + 0.24843 (x/c)^3 - 0.1015 (x/c)^4 \right)$$

Dimana y_t adalah koordinat permukaan atas dan bawah untuk jenis NACA 4 digit yang tidak memiliki *camber*. Namun untuk jenis NACA 4 digit yang memiliki *camber* maka persamaan yang digunakan adalah:

$$y_c = \frac{m}{p^2} (2px - x^2) \quad \text{untuk } 0 \leq x \leq Pc$$

$$y_c = \frac{m}{(1-p^2)} [(1-2p) + 2px - x^2] \quad \text{untuk } Pc \leq x \leq c$$

$$x_u = x - y_t \sin \theta$$

$$y_u = y_c - y_t \cos \theta$$

$$x_L = x - y_t \sin \theta$$

$$y_L = y_c - y_t \cos \theta$$

$$\theta = \arctan \frac{dy_c}{dx}$$

$$\frac{dy_c}{dx} = \frac{2m}{p^2} \left(p - \frac{x}{c} \right) \quad \text{untuk } 0 \leq x \leq Pc$$

$$\frac{dy_c}{dx} = \frac{2m}{(1-p)^2} \left(p - \frac{x}{c} \right) \quad \text{untuk } Pc \leq x \leq c$$

Dimana :

y_c adalah koordinat *camber* dari sumbu y.

x_u adalah koordinat sumbu x dari permukaan atas *airfoil*.

y_u adalah koordinat sumbu y dari permukaan atas *airfoil*.

x_L adalah koordinat sumbu x dari permukaan bawah *airfoil*.

y_L adalah koordinat sumbu y dari permukaan bawah *airfoil*.

2.5. Metode Element Hingga (*Finite Element Method*)

Metode Elemen Hingga merupakan suatu metode numerik dengan tujuan memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial. Metode ini banyak diterapkan untuk menyelesaikan persamaan teknik seperti struktur, dinamika fluida, perpindahan panas, dan elektromagnetik.

Digunakan metode ini karena beberapa masalah yang teridentifikasi cenderung sulit untuk dipecahkan seperti *stress*, kondisi panas, atau beberapa analisa yang saling terkait satu sama lain.

Namun secara teori metode ini digunakan untuk melakukan analisa *stress* pada suatu struktur.

Kelebihan pada metode elemen hingga ini adalah lebih dapat diaplikasikan pada berbagai macam permasalahan *engineering*. Selain itu dengan metode ini kita dapat menganalisa suatu permasalahan secara aktual dan akurat karena memiliki kemiripan fisik secara real di lapangannya. [4]

Secara mendasar ada dua karakteristik yang membedakan penggunaan metode ini dengan metode numerik yang lainnya yaitu:

1. Metode Elemen Hingga menggunakan fungsi-fungsi kontinu untuk pendekatan parameter-parameter yang belum diketahui.
2. Metode Elemen Hingga menggunakan persamaan integral untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar.

2.6. Gaya Melalui Sebuah Titik

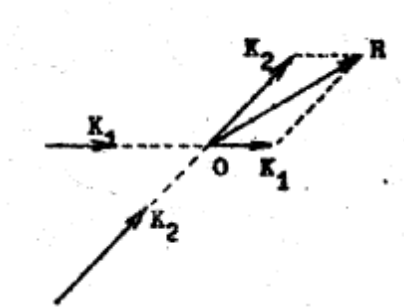
Mekanika Teknik sebagian besar didasarkan atas hukum-hukum statika. Adapun pengertian gaya adalah sebagai berikut: [7]

1. Gaya adalah suatu sebab yang mengubah sesuatu benda dari keadaan diam menjadi bergerak, atau sebaliknya.
2. Suatu gaya ditentukan oleh besarnya, arahnya dan titik tangkapnya.
3. Garis yang dilalui oleh gaya itu disebut garis kerja gaya tersebut.
4. Apabila pada suatu benda bekerja sebuah gaya, maka didalam benda tersebut terjadi

gaya lawan yang besarnya sama dengan gaya tersebut.

5. Titik tangkap suatu gaya yang bekerja pada suatu benda tertentu boleh dipindahkan pada sepanjang garis kerjanya.
6. Momen daripada suatu gaya adalah hasil perkalian gaya tersebut dengan jarak gaya itu (lengan) sampai titik yang ditinjau.

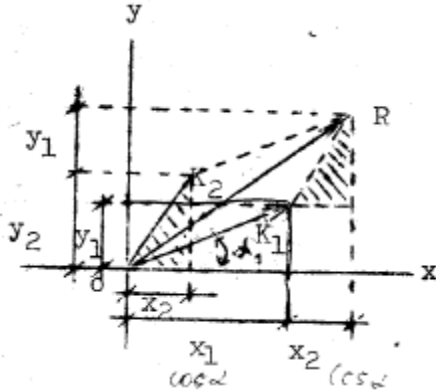
Untuk menyusun 2 gaya yang melalaui sebuah titik dapat digunakan cara hitungan (analisa) atau cara gambar (grafis). [7]



Gambar 2.10 Gaya Melewati Sebuah Titik [7]

Pada gambar 2.10 gaya-gaya K_1 dan K_2 dipindahkan titik-titik tangkapnya ketitik 0. Dengan cara lukisan gaya paduan R terdapat, yaitu panjangnya (yang berarti besarnya gaya) sama dengan panjang diagonal dari pada jajar genjang dengan sisi sisin K_1 dan K_2 .

Cara perhitungannya adalah sebagai berikut:



Gambar 2.11 Penyelesaian dari Gambar 2.10 [7]

Setelah gaya-gaya itu dipindahkan ke 0 kita mengambil salib sumbu X dan Y yang tegak lurus.

$$K_{X1} = K_1 \cos \alpha_1 ; K_{X2} = K_2 \cos \alpha_2$$

$$K_{Y1} = K_1 \sin \alpha_1 ; K_{Y2} = K_2 \sin \alpha_2$$

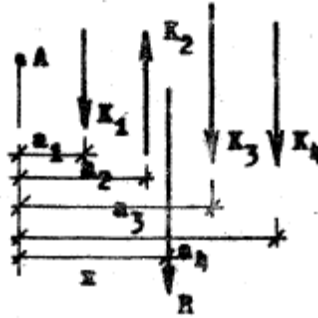
$$R_X = K_{X1} + K_{X2} ; R_Y = K_{Y1} + K_{Y2}$$

$$R = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{R_Y}{R_X} \quad [7]$$

2.7. Gaya-Gaya Sejajar

Gaya-gaya yang sejajar akan bertemu disebuah titik yang letaknya ditempat yang terhingga jauhnya. Gaya paduannya akan melalaui titik tersebut diatas juga dan oleh karna itu akan sejajar pula dengan gaya-gaya diatas. Besarnya adalah sebagai berikut [7]



Gambar 2.12 Gaya Sejajar [7]

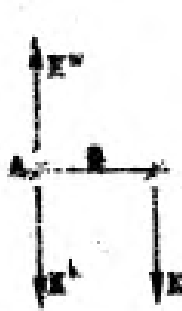
$$R_X \cdot x = K_1 \cdot a_1 + K_2 \cdot a_2 + K_3 \cdot a_3 + K_4 \cdot a_4$$

$$x = \frac{K_1 \cdot a_1 + K_2 \cdot a_2 + K_3 \cdot a_3 + K_4 \cdot a_4}{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}$$

$$x = \frac{\sum K \cdot a}{\sum K} [7]$$

2.8. Gaya-Gaya Berarah Sembarang

Sebuah gaya K (pada gambar 2.13) dapat diganti dengan gaya K' yang sama besar dan arahnya, ditambah dengan sebuah pasangan. Ini berarti bahwa K itu diasumsikan menjadi gaya K' dan sebuah pasangan. Pasangan ini tersusun oleh K dan $K''=K'$, besarnya K . a. Jarak a adalah jarak titik A sampai garis kerja K . [7]



Gambar 2.13 Gaya Berarah Sembarang [7]

Masing-masing gaya K dipindahkan ke sebuah titik sembarang A , dan sebagai hasil ialah gaya $K'=K$ dan sebuah pasangan $M=K \cdot a$ dimana a = jarak titik A ke garis kerja K . Setelah gaya-gaya itu dipindahkan ke A yaitu $K'_1 = K_1$; $K'_2 = K_2$ dan seterusnya, gaya-gaya ini dipadukan menjadi $R'=K$.

Pasangan-pasangan sebagai akibat pemindahan gaya-gaya tersebut juga dipadukan menjadi $M_R = M_1 + M_2 + M_3 \dots = M$. Setelah itu kita mempunyai sebuah gaya R' dan momen M_R , dan keduanya ini dapat dipadukan

(diganti) dengan sebuah gaya $R \neq R'$ yang garis kerjanya berjarak r dari titik A. Besarnya A dapat dicari:

$$Rr = \frac{M_R}{R} [7]$$

2.9. Beban

Beban adalah beratnya benda atau barang yang didukung oleh sesuatu konstruksi (bangunan). [7]

Ada 2 macam beban yaitu:

1. Beban Mati (Tenang)

Beban benda yang tidak bergerak dan tidak berubah beratnya. Beratnya konstruksi yang mendukung itu termasuk beban mati dan disebut berat sendiri daripada konstruksi. [7]

2. Beban Hidup (Bergerak)

Beban yang berubah-ubah tempatnya, atau beban yang berubah-ubah beratnya. Contohnya adalah semua jenis kendaraan, dan orang yang berjalan diatas jembatan. Tekanan angin pada atap rumah atau bangunan lainnya termasuk sebagai beban juga. [7]

Disamping penggolongan diatas kita membedakan 3 macam yaitu: [7]

- a) Beban terpusat atau beban titik, yaitu beban yang bertitik tangkap disebuah titik
- b) Beban terbagi ada dua jenis yaitu terbagi rata dan beban segitiga. Beban terbagi adalah beban yang terbagi pada sebuah bidang yang cukup luas.

- c) Beban langsung, beban yang langsung bekerja diatas balok.
- d) Beban tidak langsung, beban yang diteruskan oleh benda lain.

2.10. Gaya Reaksi

Suatu konstruksi bertugas mendukung gaya-gaya luar yang bekerja padanya, yang kita sebut beban. Agar dapat memenuhi tugas itu konstruksi harus ditumpu atau diletakan pada perletakan-perletakan tertentu. Kosntruksi dapat ditumpu oleh tanah, oleh pondasi dari pasangan batu atau beton atau oleh sesuatu konstruksi tersendiri. Misalnya sebuah jembatan; jembatan diletakan diatas pangkal jembatan. [7]

Didalam perencanaan suatu konstruksi kita harus meninjau dengan cermat tentang penerusan beban-beban dari asalnya ketanah. Antara beban dan gaya reaksi ada hubungannya yang erat. Beban adalah primer, sedangkan gaya reaksi adalah sekunder. Tak mungkin timbul gaya reaksi tanpa adanya beban. Oleh karena itu dapat dikatakan, bahwa beban adalah pengubah bebas (x), sedang gaya reaksi adalah pengubah tak bebas (y). [7]

Unutk meneruskan gaya reaksi ada beberapa bentuk kosntruksi yaitu: [7]

1. Sendi/ Engsel.

Sendi/engsel dapat mendukung gaya Tarik dan desak yang berarah sembarang, sedang

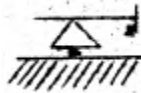
garis kerjanya selalu melalui pusat sendi. Jadi sendi tidak dapat meneruskan momen.



Gambar 2.14 Sendi/engsel [7]

2. Lereng

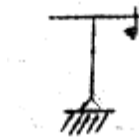
Hanya dapat meneruskan gaya desak saja yang berarah tegak lurus bidang perletakan.



Gambar 2.15 Lereng [7]

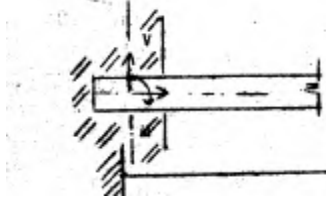
3. Batang Tumpuan (pendel)

Sebuah batang dengan sendi diujung-ujungnya. Batang tumpuan dapat meneruskan gaya Tarik dan desak, tetapi arahnya selalu menurut sumbu batang.



Gambar 2.16 Batang Tumpuan [7]

4. Jepitan,
Jepitan dapat meneruskan segala macam gaya dan momen.



Gambar 2.17 Jepitan [7]

2.11. Tegangan

Permasalahan yang sering timbul pada bidang teknik adalah mengharuskan para perancang untuk memperhatikan dan memperhitungkan adanya tegangan-tegangan dan kekuatan yang ada dalam suatu sistem konstruksi. Secara umum hal ini dimulai dengan:

- Memperhatikan beban-beban (loads) luar yang bekerja pada suatu struktur.
- Memperhatikan beban-beban luar yang berkerja pada bagian-bagian struktur.
- Menentukan lokasi kritis dari struktur akibat beban yang ada, dan menghitung besaran beban yang bekerja pada daerah kritis tersebut.

Tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja pada suatu luas permukaan benda yang arahnya tegak lurus dengan penampang tersebut, sedangkan tegangan geser adalah besar gaya yang bekerja pada suatu penampnag yang arahnya sejajar penampang

tersebut, dan keduanya dapat dirumuskan sebagai berikut. [5]

Besar tegangan normal:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Besar tegangan geser:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Dimana:

σ = tegangan normal (N/m²)

τ = tegangan geser (N/m²)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m²)

Pembebanan dapat berupa pembebanan tunggal atau pembebanan gabungan misalnya gaya, momen, dan torsi. Analisa tegangan dilakukan agar dapat mengetahui dari posisi mana terjadi tegangan paling besar (tegangan kritis), sehingga dapat dilakukan antisipasinya. Dalam hal ini, analisis yang dilakukan adalah terhadap suatu titik tertentu pada benda yang dianggap pada titik tersebutlah tegangan maksimum terjadi akibat pembebanan yang ada. [5]

2.12. Regangan

Regangan adalah hal yang sangat penting dan mendasar bagi para perancang dalam merancang dan meng-aplikasikan elemen konstruksi yang mengalami defleksi. Jika pada suatu elemen konstruksi diberi beban dan beban ini bekerja terus menerus maka elemen tersebut akan mengalami titik kejenuhan. Maka dari itu kita harus mampu menghitung seberapa besar regangan yang terjadi pada suatu elemen

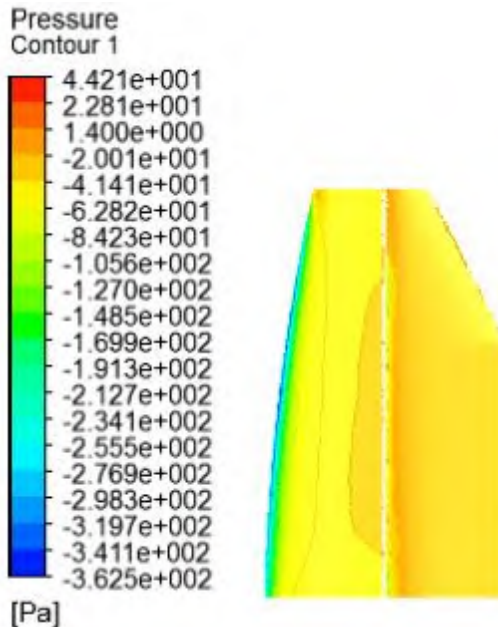
konstruksi sehingga elemen konstruksi tersebut selalu dalam kondisi aman. [5]

2.13. *Software 3D*

Solidwork adalah sebuah program *Computer Aided Design (CAD)* 3D yang menggunakan sistem operasi *Microsoft Windows*. Program ini dikembangkan oleh *Solidworks Corporation*, yang merupakan anak perusahaan dari *Dassault Systemes, S.A.* *Solidwork* merupakan program penting yang mulai banyak digunakan pada industri saat ini. Program ini relative lebih murah dan mudah digunakan dibandingkan program lainnya.

Selain digunakan untuk menggambar 3D, *Solidwork* juga mampu menghasilkan gambar 2D dan bisa dikonversi ke format *.dwg yang dapat dijalankan pada program *AutoCAD*. [6]

2.14. *Pressure Contour Model CFD*



Gambar 2.18 Pressure Contour Model 3 dan 3 [1]

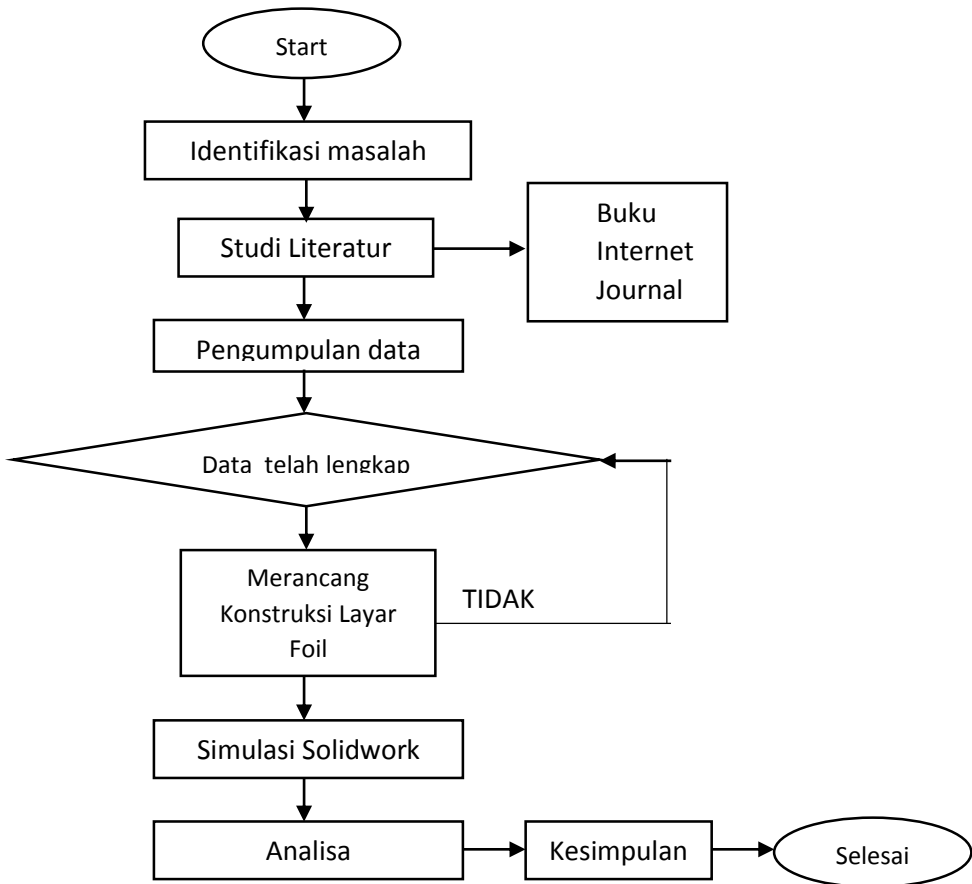
Gambar diatas merupakan *pressure counter* dari hasil *running CFD*. *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. [8]

Gambar diatas terlihat beberapa warna yang menunjukkan besaran tekanan yang diterima oleh benda. Warna-warna tersebut menunjukkan perbedaan tekanan yang terjadi pada suatu benda.

BAB III METODOLOGI

3.1. Flowchart

Rangkaian metodologi yang digunakan untuk penyelesaian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.2. Prosedur Pelaksanaan

Berikut adalah prosedur pelaksanaan dimana berisi langkah-langkah dalam menyelesaikan tugas akhir diantaranya adalah:

3.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahap awal menentukan perumusan masalah dan mengidentifikasi permasalahan yang dimana akan menjadikan acuan untuk menentukan metode penyelesaian pada tugas akhir ini. Untuk permasalahan pada tugas akhir ini adalah bagaimana melakukan perancangan struktur dan konstruksi terhadap layar foil (wingsail) yang kuat dan aman sehingga memberikan struktur dan konstruksi wingsail yang layak untuk desain perahu.

3.2.2. Studi Literatur

Pada tahap awal setelah melakukan identifikasi dan perumusan masalah, maka selanjutnya adalah dilakukannya studi literatur. Dimana melingkupi mencari, mempelajari serta memahami berbagai isi buku, artikel, internet, maupun jurnal yang berhubungan dengan layar foil.

3.2.3. Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam pengerjaan skripsi ini. Data yang diperoleh adalah mengenai konstruksi layar foil, geometri NACA mengikuti pada penelitian yang sudah pernah dilakukan.

3.2.4. Merancang Konstruksi Layar Foil

Dalam merancang konstruksi layar foil digunakan bantuan *software solidwork*. Sebelum merancang di *software solidwork*, kita harus menguraikan gaya-gaya yang bekerja pada layar foil. Setelah menguraikan gaya-gaya yang ada pada layar foil kita harus mengitung gaya tersebut sehingga kita mengetahui beban minimal yang boleh di terima oleh konstruksi. Gaya diambil dari ANSYS. Setelah itu kita baru bisa menentukan rancangan dimensi seperti besaran diameter tiang penyangga, berapa banyaknya rusuk yang dibutuhkan, dan material apa yang digunakan.

3.2.5. Simulasi Software 3D

Setelah pembuatan rancangan dimensi dan lain-lain, maka selanjutnya adalah pengujian model menggunakan *software solidwork*. Untuk mengetahui respon sistem setelah dilakukan permodelan. Pada saat simulasi konstruksi layar foil akan diberi pembebanan yang bekerja pada layar foil. Lalu melakukan pencatatan untuk semua hasil simulasi.

3.2.6. Pembahasan dan Analisa

Setelah simulasi dengan menggunakan *solidwork* selesai, selanjutnya adalah analisa data dan melakukan pembahasan dengan menampilkan semua hasil dari simulasi tersebut.

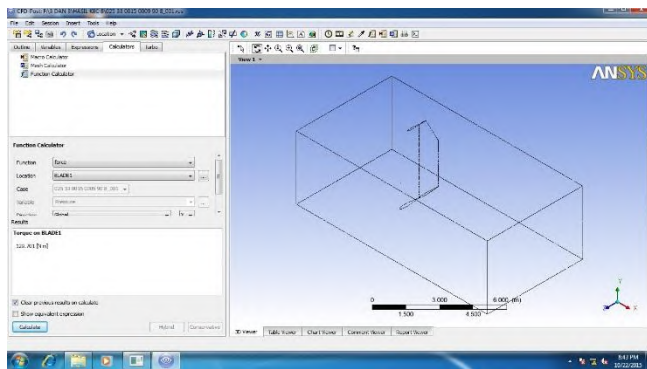
3.2.6. Kesimpulan

Mengambil kesimpulan berdasarkan hasil yang didapat beserta saran untuk pengembangan dalam hal yang berhubungan dengan skripsi ini.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

1.1. Pengumpulan Data

Pada pengumpulan data ini diperlukan adalah nilai besaran gaya yang diperoleh dari data percobaan pada software CFD yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.



Gambar 4.1 Simulasi di software CFD

Berikut adalah besaran gaya yang diperoleh dari software CFD.

Tabel 4.1 Besar Gaya yang Bekerja

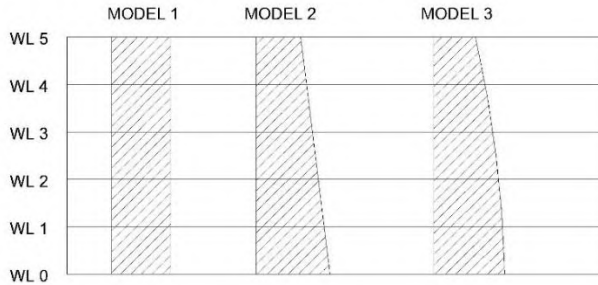
Sudut Serang	Laya Foil I	Layar Foil II
5°	2.09 N	6.20 N
10°	8.94 N	13.56 N
15°	25.06 N	23.74 N

20°	65.85 N	160.74 N
25°	96.92 N	75.66 N
30°	136.95 N	102.09 N
40°	267.98 N	203.64 N
50°	378.934 N	338.66 N
60°	499.054 N	490.91 N
70°	604.579 N	658.33 N
90°	599.42 N	793.432 N

1.2. Perancangan Konstruksi Layar Foil

Perancangan layar foil bagian depan menggunakan bentuk model 3 dan yang layar foil belakang menggunakan model 3. Karena menurut penelitian sebelumnya model 3 dan 3 paling maksimal dari pada kombinasi model yang lain.

FRONT FOIL $c/s = 1/4$

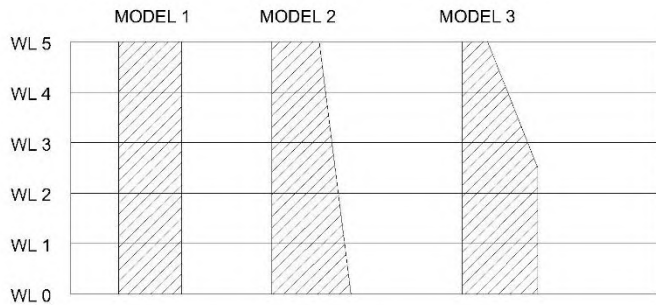


Gambar 4.2 Bentuk Layar Bagian Depan

Tabel 4.2 ukuran model layar di posisi depan

NACA 0015				
span (m)	WL	model 1 (m)	model 2 (m)	model 3 (m)
4	5	1	0.75	0.4
	4	1	0.85	0.72
	3	1	0.95	1.04
	2	1	1.05	1.2
	1	1	1.15	1.2
	0	1	1.25	1.2
luas (m ²)		4	4	4

REAR FOIL $c/s = 1/4$



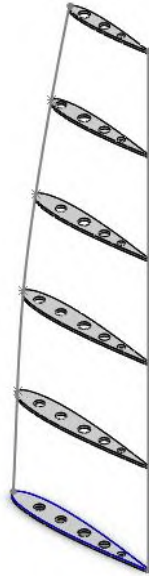
Gambar 4.3 Bentuk Layar Bagian Belakang

Tabel 4.3 ukuran model layar di posisi belakang

NACA 0009				
span (m)	wl	model 1 (m)	model 2 (m)	model 3 (m)
4	5	1	0.75	0.7
	4	1	0.85	0.867
	3	1	0.95	0.998
	2	1	1.05	1.096
	1	1	1.15	1.163
	0	1	1.25	1.2
luas (m ²)		4	4	4

Langkah-langkah menggambar layar foil **bagian depan** pada software 3D adalah sebagai berikut.

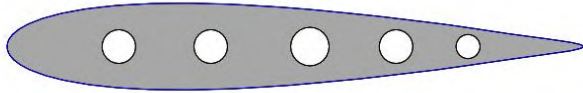
1. Menggambar tulang rusuk layar foil naca 0015.



Gambar 4.4 Tulang Rusuk Layar Foil Naca 0015

Tulang rusuk ini sebagai kerangka untuk layar foil. Keberadaannya sangat penting, karena dapat menambah kekuatan konstruksi layar foil.

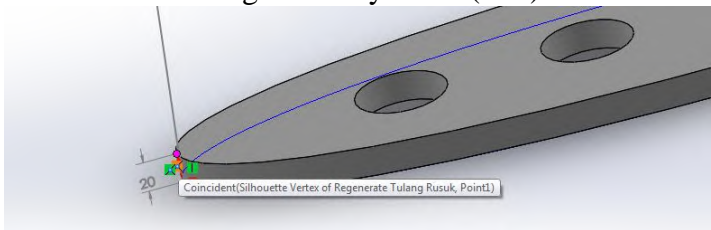
Ukuran diameter lubang tulang rusuk layar foil (mm).



Gambar 4.5 Diameter Lubang Tulang Rusuk

Diameter lubang tulang rusuk adalah 70 mm, 70 mm, 80 mm, 70 mm, 50 mm.

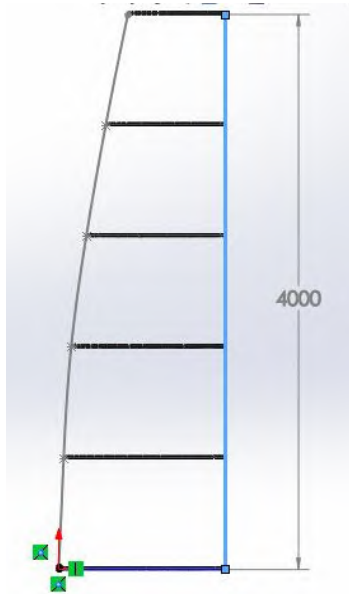
Ukuran tebal tulang rusuk layar foil (mm)



Gambar 4.6 Tebal Tulang Rusuk Layar Foil

Tebal tulang rusuk masing-masing adalah 20 mm.

Tinggi layar foil (mm)

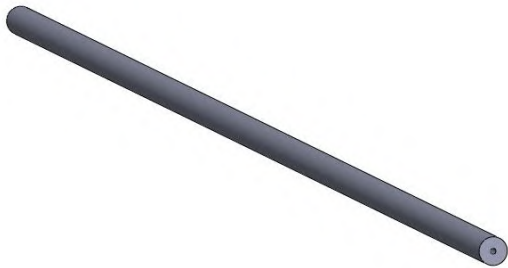


Gambar 4.7 Tinggi Layar Foil

Tinggi layar foil adalah 4000 mm. Dengan jumlah 6 tulang rusuk.

2. Menggambar tiang utama dan tiang penunjangnya konstruksi layar foil.

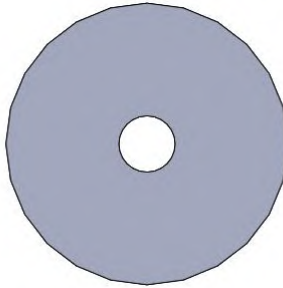
Menggambar profile tiang utama dan penyangga



Gambar 4.5 Tiang

Masing-masing memiliki panjang yang berbeda.
Panjang tiang utama adalah 5500 mm.
Panjang 5 buah tiang penyangga 4020 mm, 4020 mm, 4020 mm, 3220 mm, dan 1620 mm.

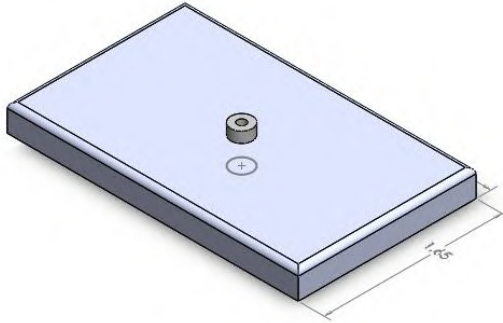
Menggambar profile diameter tiang utama dan tiang penyangga.



Gambar 4.6 Profile Diameter Tiang Utama dan Tiang Penyangga

Diameter menyesuaikan dengan lebar diameter yang ada pada tulang rusuk. Tebal masing-masing profile tiang utama dan tiang penyangga adalah 20 mm.

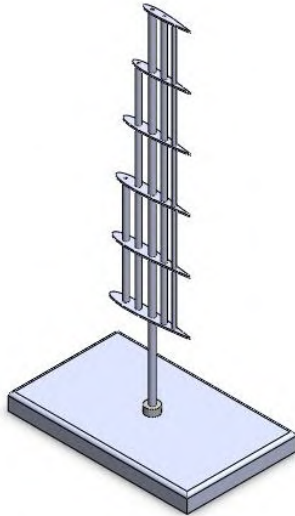
3. Menggambar pondasi untuk tiang utama layar foil.



Gambar 4.7 Pondasi

Pondasi merupakan komponen terpenting didalam sebuah konstruksi. Ukuran diameter pondasi disesuaikan dengan diameter tiang utama. Karena tiang utama nanti akan langsung dihubungkan dengan pondasinya.

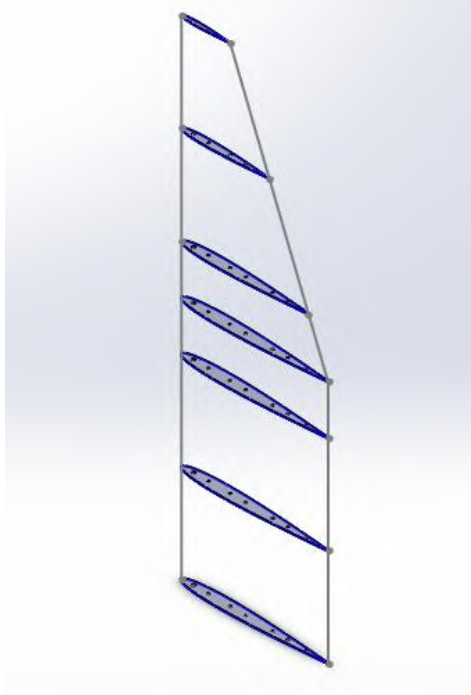
4. Merakit komponen yang sudah dibuat menjadi seperti gambar dibawah ini



Gambar 4.8 Layar Foil Bagian Depan

Langkah-langkah menggambar layar foil **bagian belakang** adalah sebagai berikut.

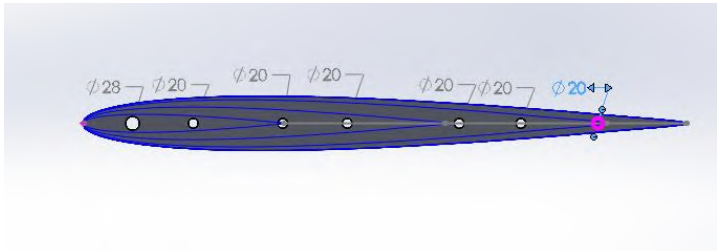
1. Menggambar tulang rusuk layar foil naca 0009.



Gambar 4.9 Tulang Rusuk Layar Foil Naca 0009

Tulang rusuk ini merupakan kerangka konstruksi dari layar foil yang mampu menambah kekuatan konstruksi.

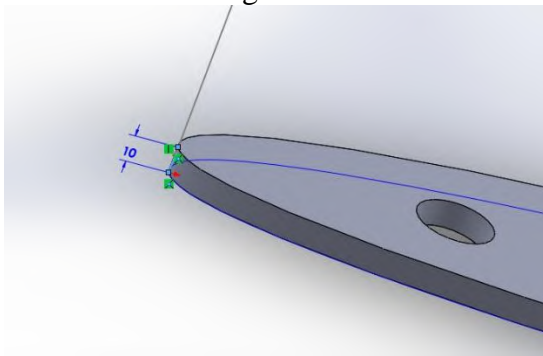
Ukuran diameter lubang tulang rusuk layar foil (mm).



Gambar 4.10 Diameter Lubang Tulang Rusuk

Diameter lubang tulang rusuk adalah 28 mm, 20 mm, 20 mm, 20 mm, 20 mm, 20mm.

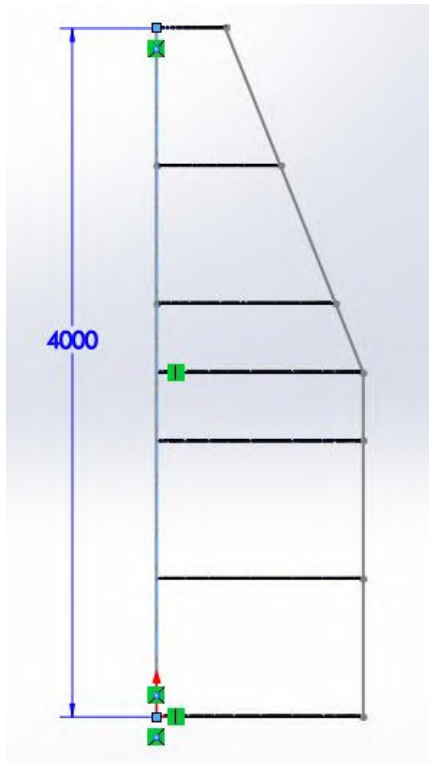
Ukuran tebal tulang rusuk foil



Gambar 4.11 Tebal Tulang Rusuk

Tebal tulang rusuk masing-masing adalah 10 mm.

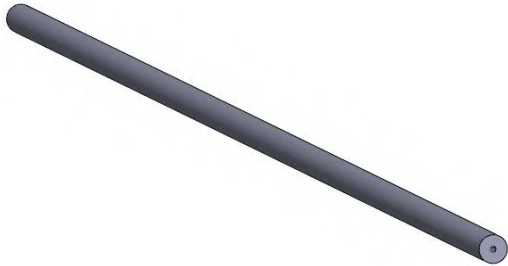
Tinggi Layar Foil (mm)



Gambar 4.12 Tinggi Layar Foil

Tinggi layar foil adalah 4000 mm, dengan 7 tulang rusuk.

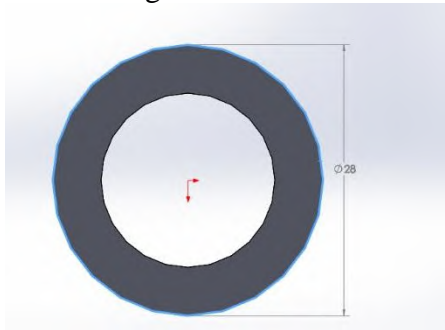
2. Menggambar profile tiang utama dan tiang penunjangnya konstruksi layar foil.



Gambar 4.13 Tiang Utama

Panjang tiang utama adalah 5500 mm sesuai dengan panjang pada layar foil naca 0009.

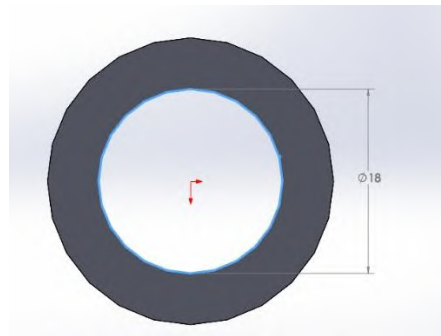
Diameter luar tiang utama



Gambar 4.14 Diameter luar tiang utama

Diameter luar tiang utama bernilai 28 mm.

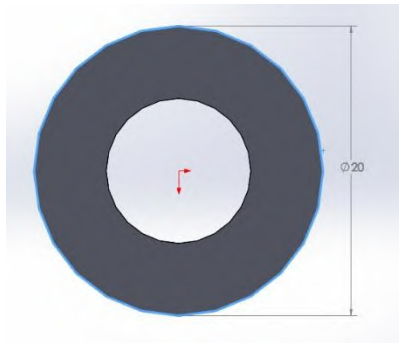
Diameter dalam tiang utama



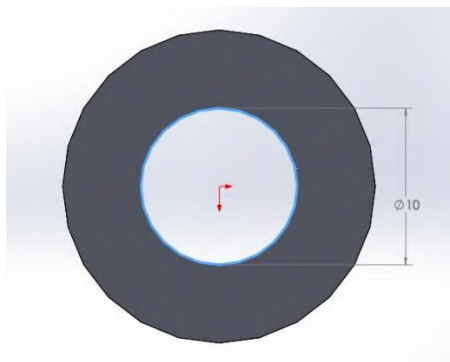
Gambar 4.15 Diameter dalam tiang utama

Diameter dalam tiang utama bernilai 18 mm.

Menggambar tiang berdiameter 20 mm.



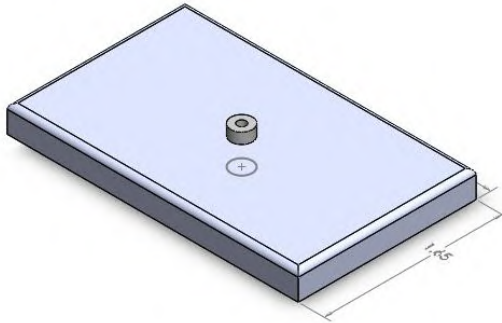
Gambar 4.16 Diameter luar tiang penunjang



Gambar 4.17 Diameter dalam tiang penunjang

Diameter luar tiang penunjang bernilai 20 mm dan diameter dalamnya bernilai 10 mm. Tinggi tiang penyangga masing-masing berbeda yaitu 4010 mm, 3210 mm, 2410 mm, 2010 mm, sesuai dengan tulang rusuk yg di pasang nantinya.

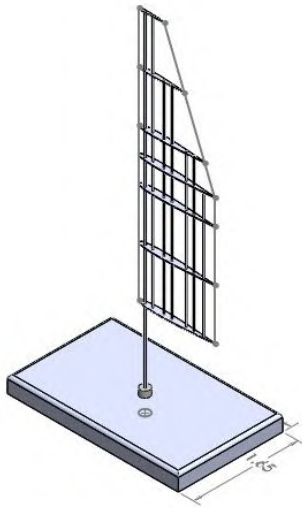
3. Menggambar pondasi untuk tiang utama layar foil.



Gambar 4.18 Pondasi

Pondasi merupakan komponen terpenting didalam sebuah konstruksi. Ukuran diameter pondasi disesuaikan dengan diameter tiang utama. Karena tiang utama nanti akan langsung dihubungkan dengan pondasinya.

4. Merakit komponen seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.19 Layar Foil Bagian Belakang

1.3. Simulasi *Software 3D*.

Setelah dilakukan pembuatan model yang sudah digabungkan menjadi satu seperti diatas maka langkah selanjutnya yaitu melakukan simulasi dengan *Software Solidwork*.

Adapun langkah untuk proses running konstruksi layar foil ini adalah sebagai berikut:

a. Pemilihan material

Sebelum dilakukan simulasi maka harus ditentukan terlebih dahulu jenis materialnya. Pada software Solidwork sudah terdapat spesifikasi untuk berbagai jenis material yang sudah disediakan. Apabila material yang diinginkan tidak terdapat pada solidwork maka harus memasukan data-data material yang diperlukan untuk dapat dilakukan proses simulasi.

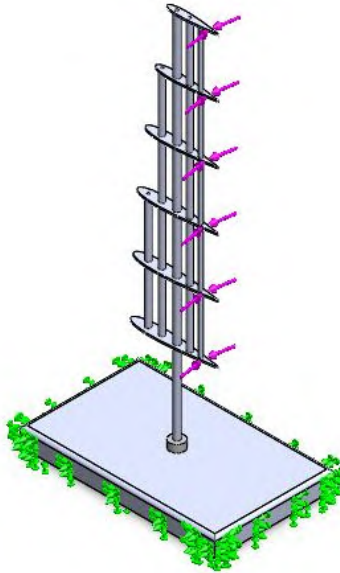
Tabel 4.4 Spesifikasi Properties S-Glass Fiber

Property	Value	Units
Elastic Modulus	4085000000	N/m ²
Poisson's Ratio	0.23	N/A
Shear Modulus	3.9e+010	N/m ²
Mass Density	2480	kg/m ³
Tensile Strength	4800000000	N/m ²
Compressive Strength	5000000000	N/m ²
Yield Strength	6000000000	N/m ²

Thermal Expansion Coefficient	2.95	/K
Thermal Conductivity	1.35	W/(m·K)
Specific Heat	740	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

b. Pemilihan Fixture

Pada prancangan konstruksi layar foil ini ditentukan jepit (fixture) pada model saat akan dilakukan simulasi. Pada solidwork terdapat banyak macam untuk fixture. Untuk perancangan konstruksi layar foil ini dipilih fixed geometry yang ditempatkan pada pondasi layar foil. Karena nantinya akan dilakukan analisa statis yaitu pada bagian pondasi layar foil. Apakah konstruksi tersebut mampu menahan beban diatasnya dan apakah memnuhi atau tidak.



Gambar 4.20 Fixed dan External Load

c. External Load

Penentuan gaya yang bekerja pada layar foil untuk dilakukan simulasi yaitu terlebih dahulu menghitung gaya yang bekerja pada salah satu sisi layar foil. Gaya diambil dari percobaan ANSYS pada penelitian sebelumnya lihat table 4.1. Namun table tersebut gaya yang bekerja pada suatu bidang tidaklah tegak lurus, melainkan memiliki sudut tertentu.

Dari sini maka akan diubahnya nilai gaya yang tidak tegak lurus menjadi tegak lurus dengan:

$$\cos(90^\circ - x) \cdot F_x = \dots$$

x = sudut serang

F_x = gaya yang bekerja pada sudut serang.

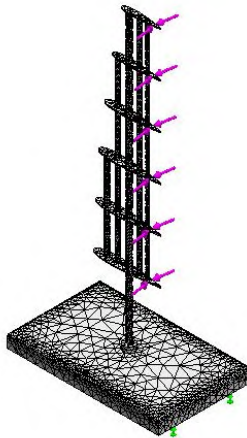
Jadi nilainya adalah:

Tabel 4.5 Gaya yang akan disimulasikan

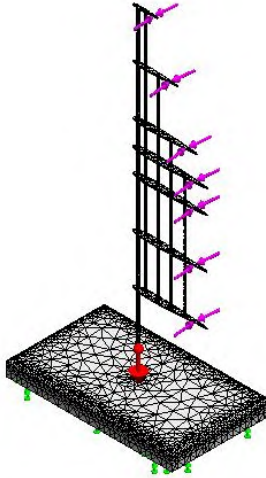
Sudut serang	F_1	F_2
5°	0.18 N	0.54 N
10°	1.55 N	2.35 N
15°	6.48 N	6.14 N
20°	22.52 N	14.95 N
25°	40.96 N	31.97 N
30°	68.47 N	51.04 N
40°	172.25 N	130.89 N
50°	290.28 N	259.43 N
60°	432.19 N	425.14 N
70°	568.11 N	618.62 N
90°	599.42 N	793.43 N

d. *Meshing*

Proses meshing merupakan suatu proses untuk membagi keseluruhan sistem kedalam elemen-elemen kecil yang seragam dengan tujuan agar analisa akan semakin detail pada setiap titik dalam keseluruhan sistem tersebut. *Meshing* dalam permodelan ini sangat penting untuk diperhatikan. Ketidak sesuaian meshing bisa jadi model yang telah didesain tidak dapat dijalankan dan hasil analisa menjadi tidak valid. Pada software solidworks, proses meshing bisa dilihat dibawah ini.



Gambar 4.21 Meshing NACA 0015



Gambar 4.22 Meshing NACA 0009

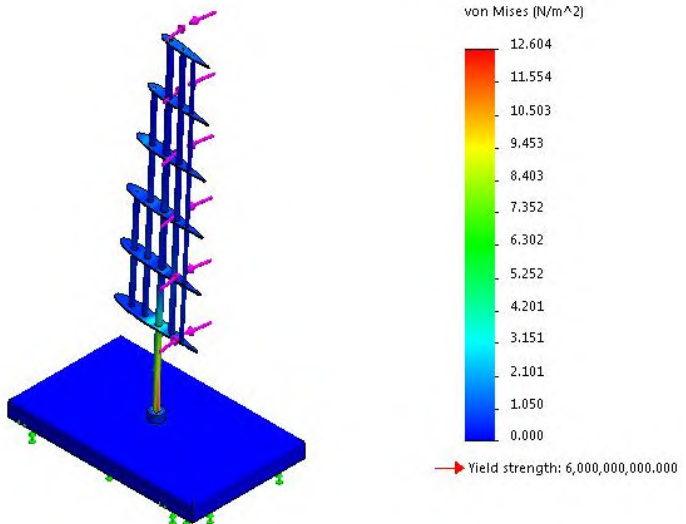
Setelah proses meshing selesai, kemudian dilakuakn simulasi pada model dengan hasil analisa berupa gambar yang menunjukkan nilai *stress*, *resultant displacement*, dan *factor safety*

1.4. Pembahasan Hasil Simulasi

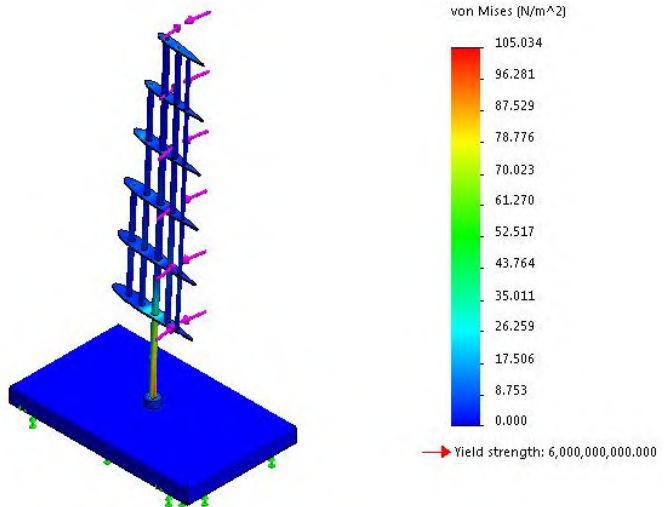
a. Tegangan (*Stress*)

Tegangan merupakan kumpulan dari gaya pada suatu permukaan benda. Semakin sempit permukaan, dan gaya tetap, maka permukaan tegangan semakin besar. Tegangan menunjukkan area tegangan material maksimal dan minimum yang diterima *part* dari beban yang diberikan. Tegangan terbesar ditunjukkan pada gradasi warna paling merah, sedangkan tegangan terkecil ditunjukkan pada gradasi warna paling biru. Area dengan tegangan sedang adalah area dengan gradasi warna kuning-hijau-birumuda.

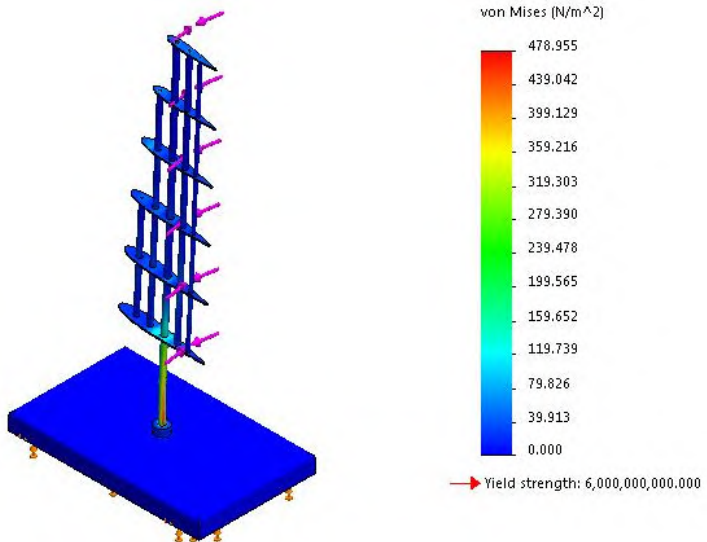
- **Naca 0015**



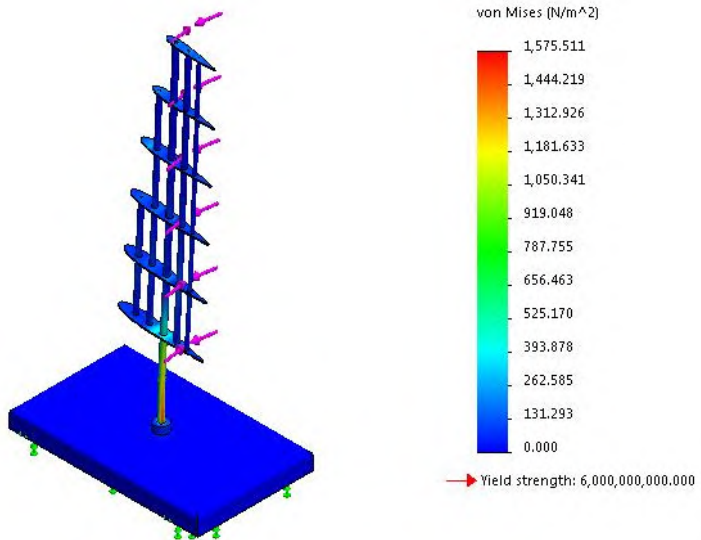
Gambar 4.23 Stress NACA 0015 Sudut Serang 5°



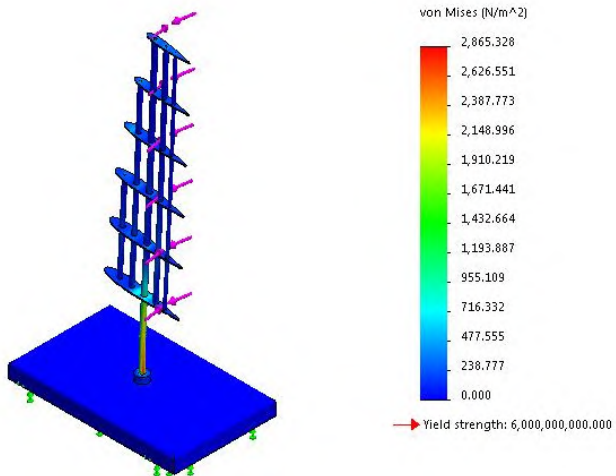
Gambar 4.24 Stress NACA 0015 Sudut Serang 10°



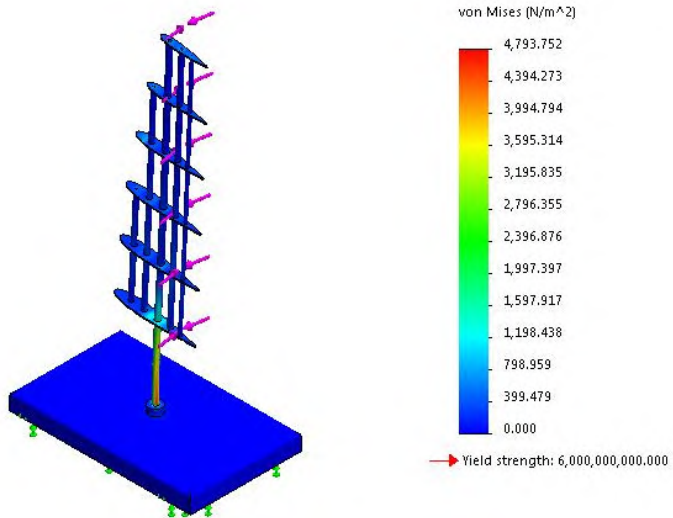
Gambar 4.25 Stress NACA 0015 Sudut Serang 15°



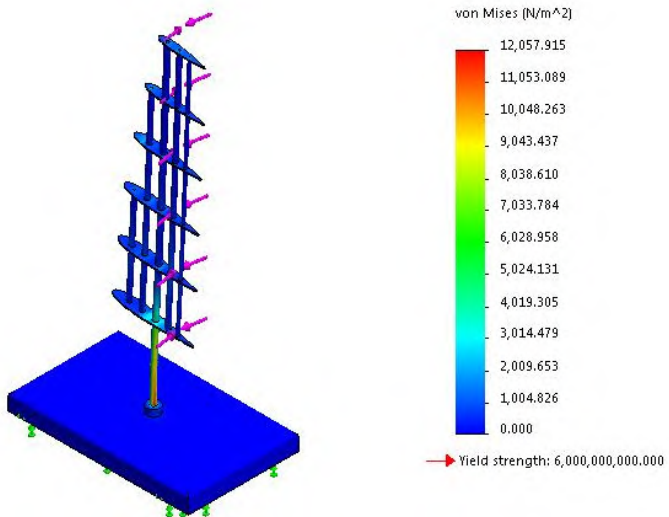
Gambar 4.26 Stress NACA 0015 Sudut Serang 20°



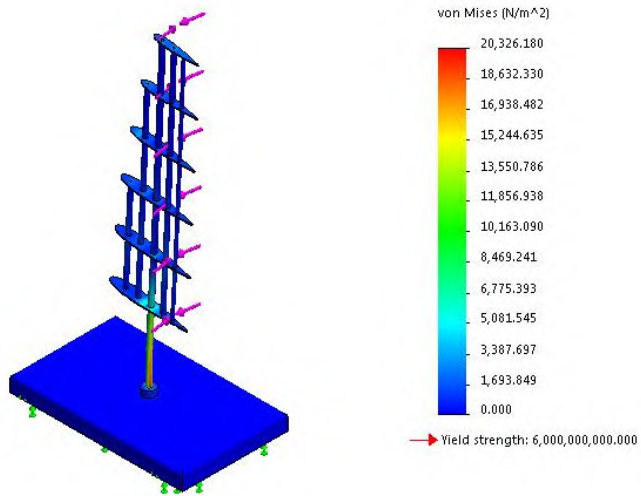
Gambar 4.27 Stress NACA 0015 Sudut Serang 25°



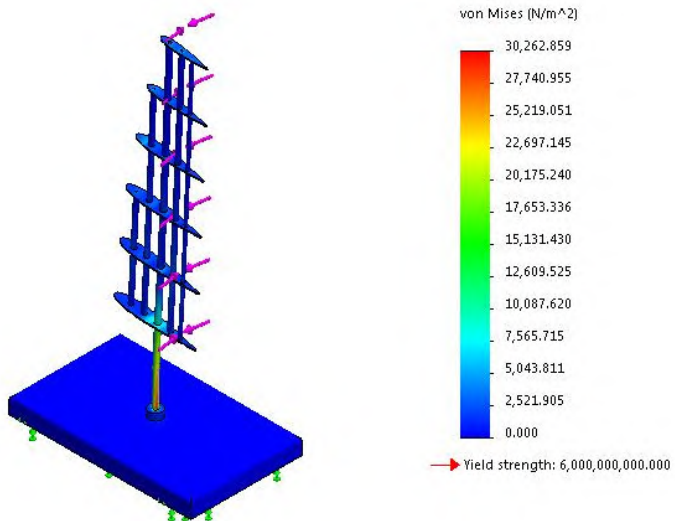
Gambar 4.28 Stress NACA 0015 Sudut Serang 30°



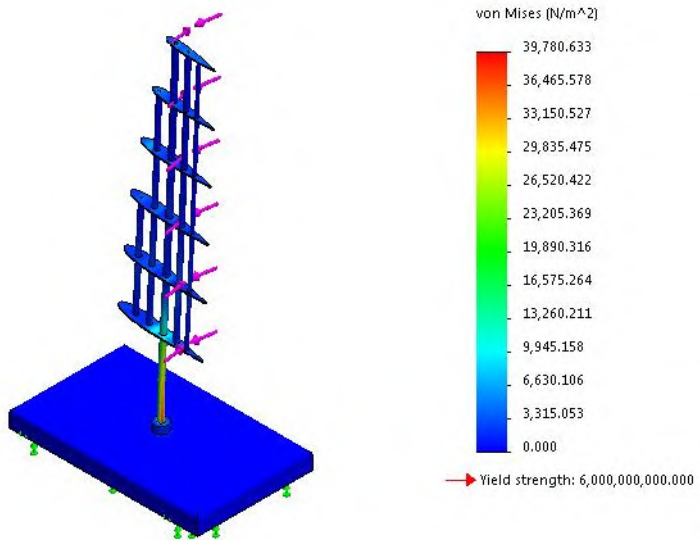
Gambar 4.29 Stress NACA 0015 Sudut Serang 40°



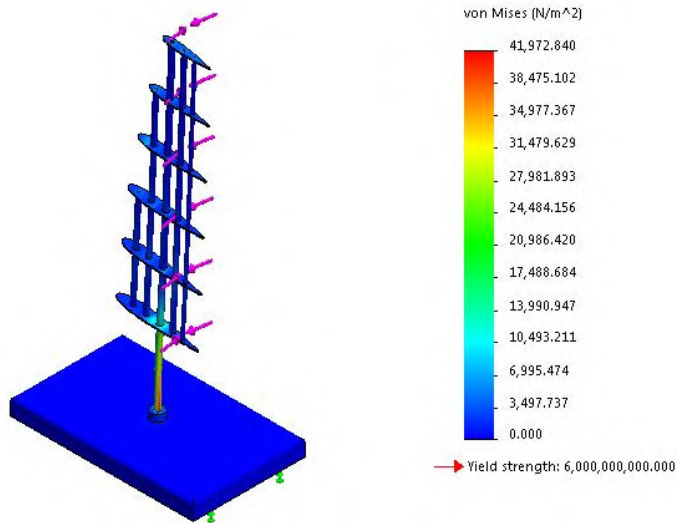
Gambar 4.30 Stress NACA 0015 Sudut Serang 50°



Gambar 4.31 Stress NACA 0015 Sudut Serang 60°



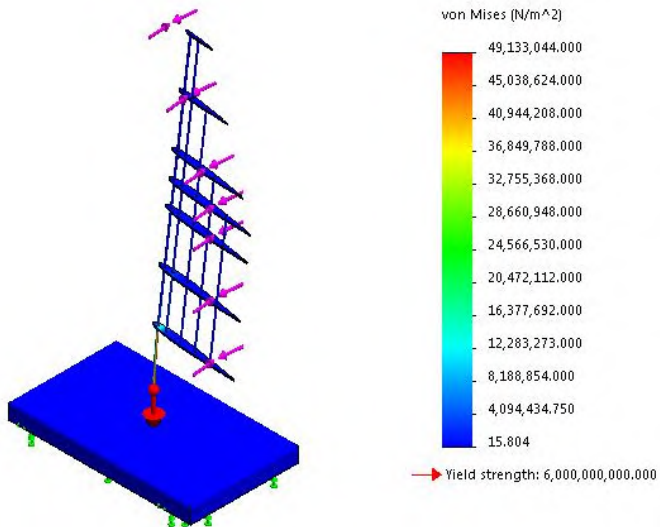
Gambar 4.32 Stress NACA 0015 Sudut Serang 70°



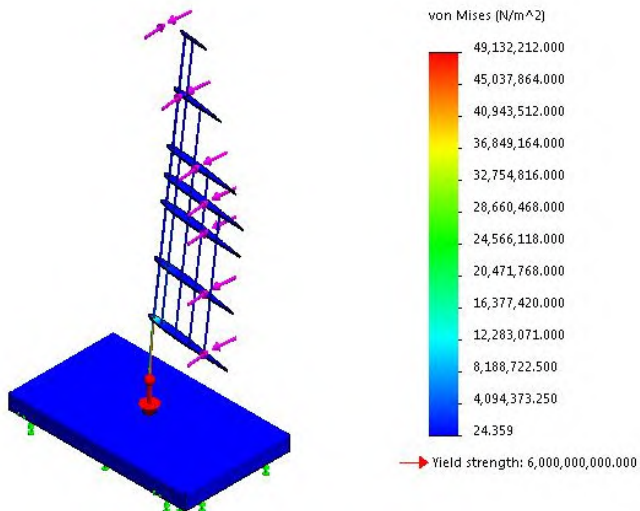
Gambar 4.33 Stress NACA 0015 Sudut Serang 90°

Dari hasil simulasi, didapatkan nilai dari tegangan pada model NACA 0015 maximal hingga 41.972,84 N/m². Tegangan terbesar berada pada saat sudut serang 90°. Dapat dilihat pula pada gambar diatas, dimana warna merah menggambarkan nilai tegangannya yang tinggi.

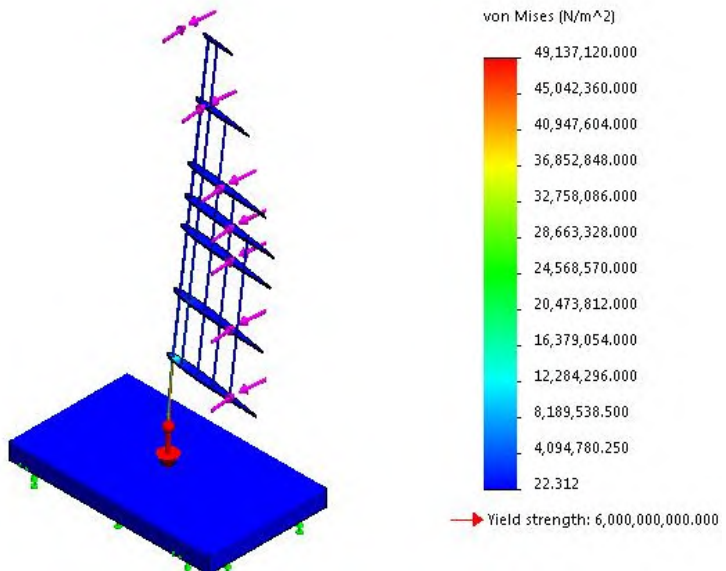
- **NACA 0009**



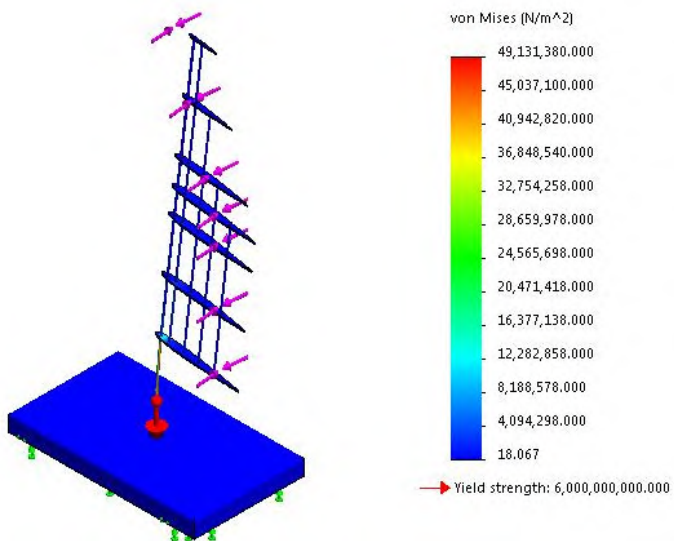
Gambar 4.34 Stress NACA 0009 Sudut Serang 5°



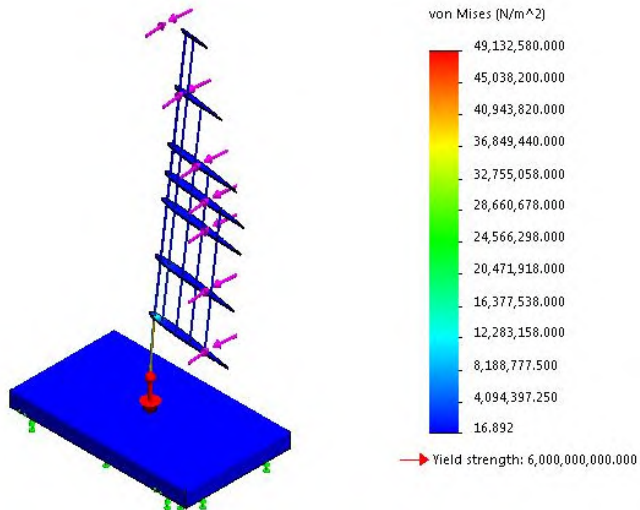
Gambar 4.35 Stress NACA 0009 Sudut Serang 10°



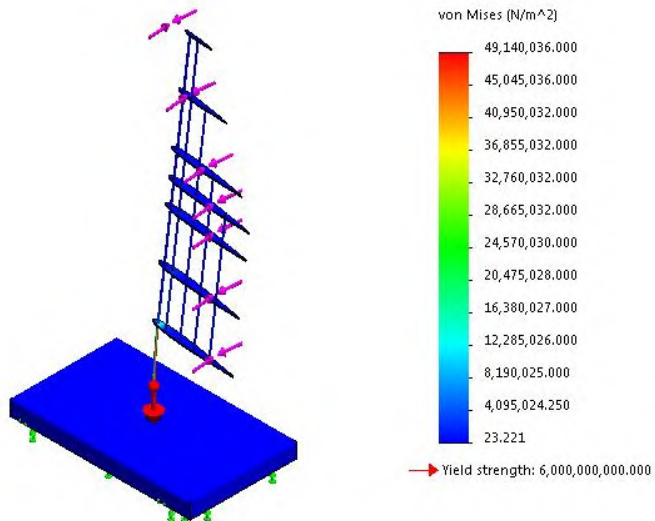
Gambar 4.36 Stress NACA 0009 Sudut Serang 15°



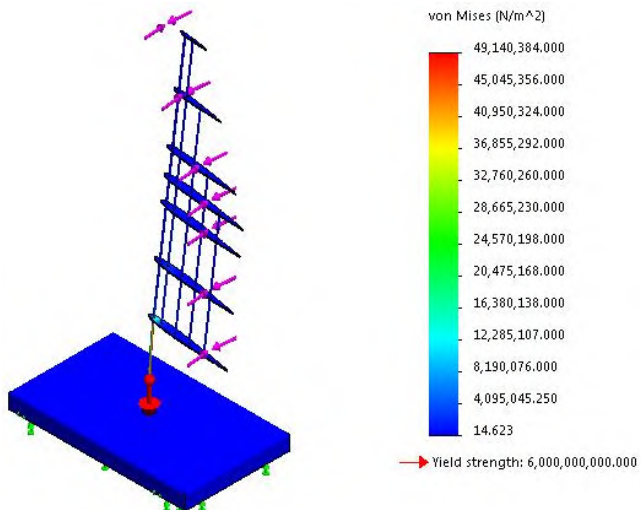
Gambar 4.37 Stress NACA 0009 Sudut Serang 20°



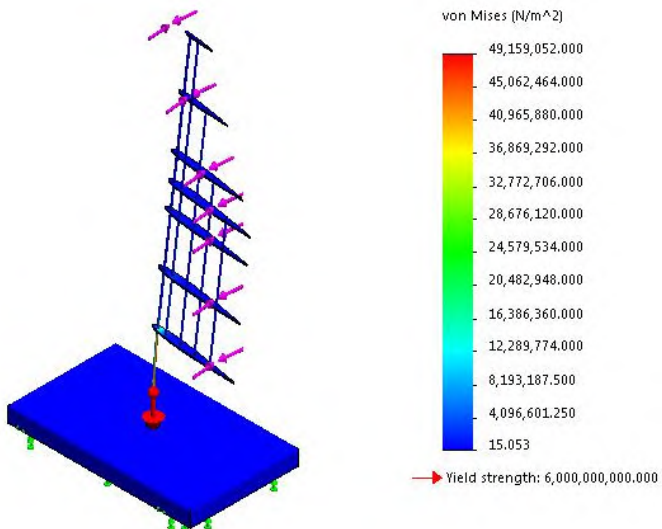
Gambar 4.38 Stress NACA 0009 Sudut Serang 25°



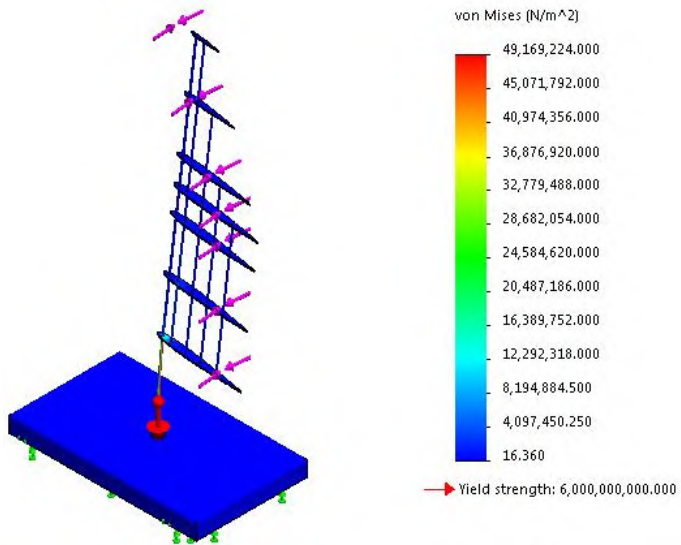
Gambar 4.39 Stress NACA 0009 Sudut Serang 30°



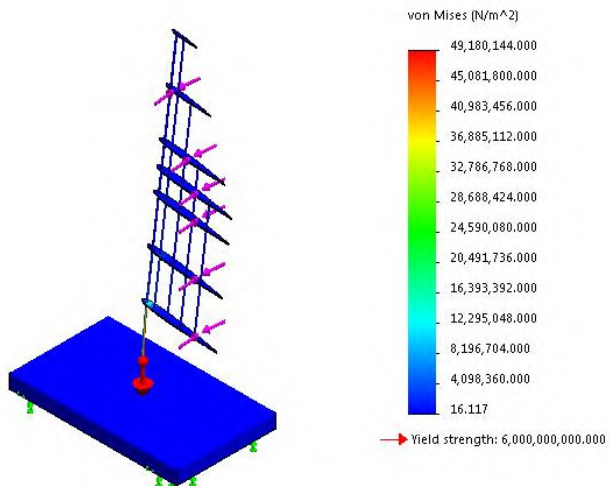
Gambar 4.40 Stress NACA 0009 Sudut Serang 50°



Gambar 4.41 Stress NACA 0009 Sudut Serang 60°



Gambar 4.42 Stress NACA 0009 Sudut Serang 70°



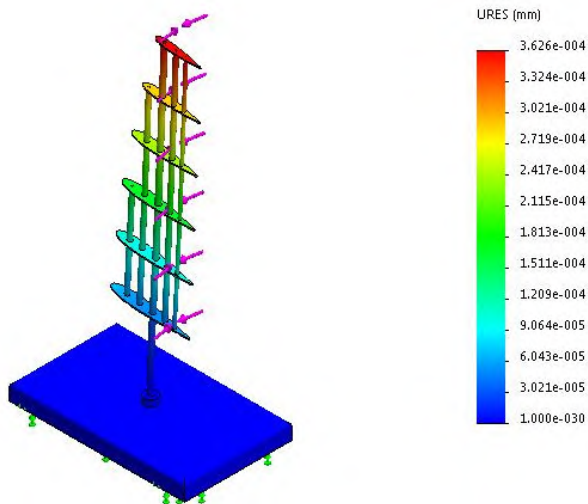
Gambar 4.43 Stress NACA 0009 Sudut Serang 90°

Dari hasil simulasi, didapatkan nilai dari tegangan pada model NACA 0009 maximal hingga 49.180.144 N/m². Tegangan terbesar berada pada saat sudut serang 90°. Dapat dilihat pula pada gambar diatas, dimana warna merah menggambarkan nilai tegangannya yang tinggi.

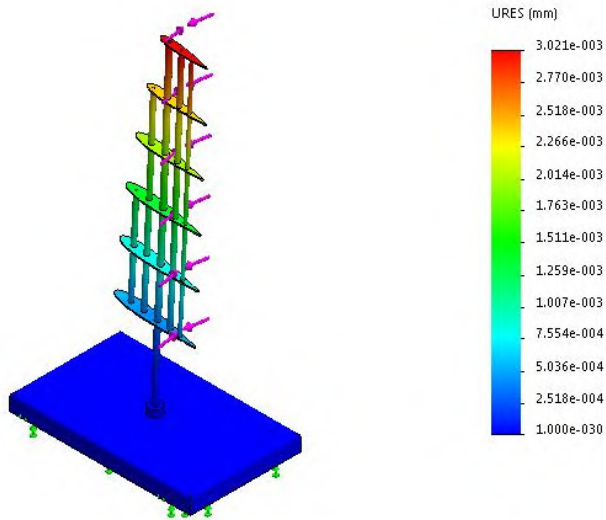
b. Perubahan Bentuk (*Displacement*)

Perubahan bentuk merupakan perubahan bentuk yang terkena gaya. Dalam hal ini adalah melengkung (*deformasi*). Perubahan bentuk pada desain ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

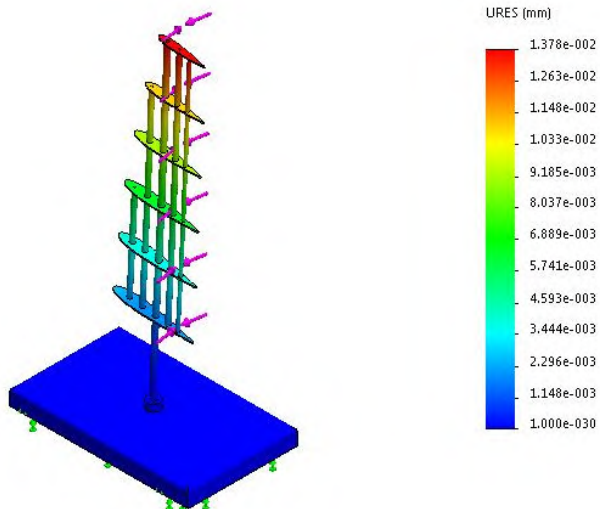
- **Naca 0015**



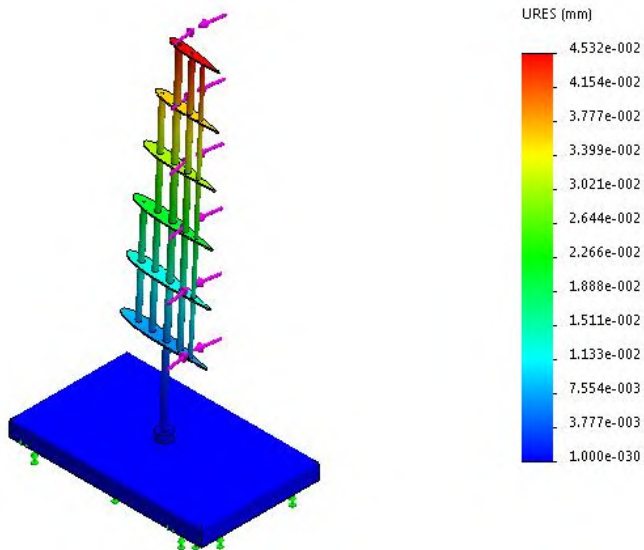
Gambar 4.44 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 5°



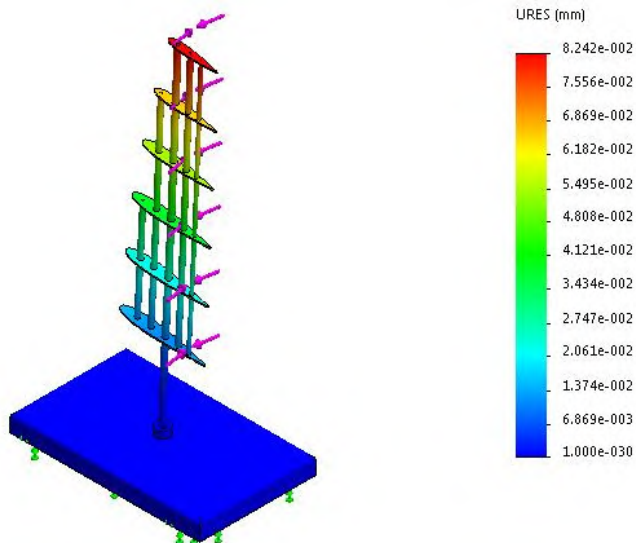
Gambar 4.45 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 10°



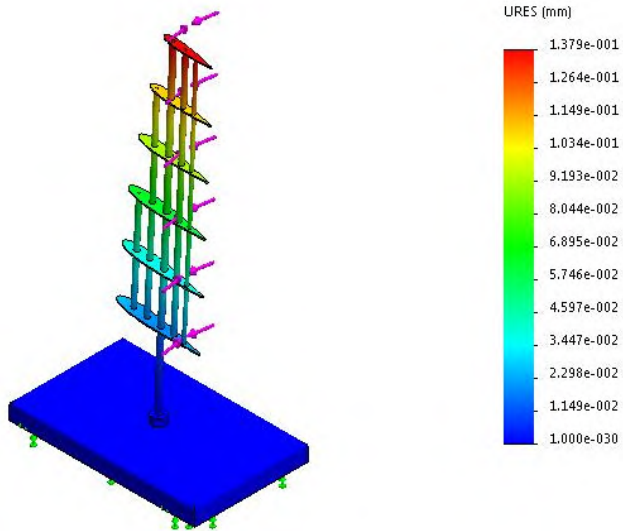
Gambar 4.46 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 15°



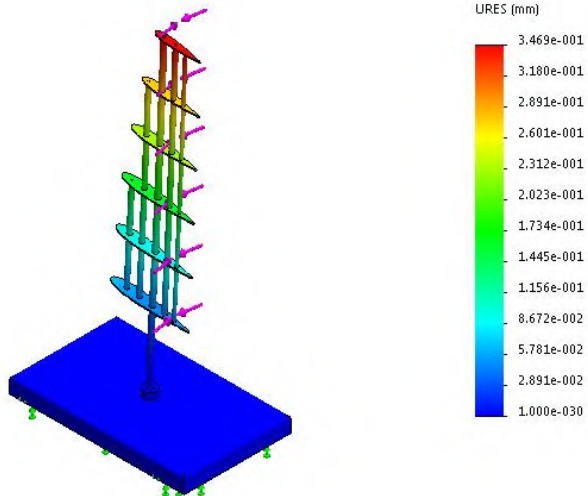
Gambar 4.47 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 20°



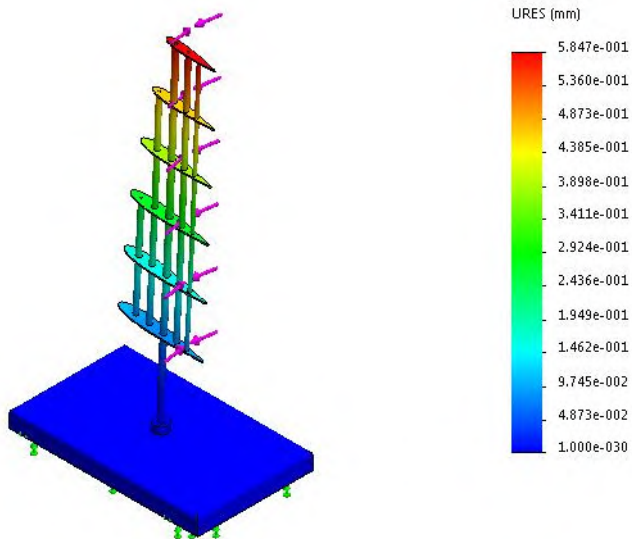
Gambar 4.48 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 25°



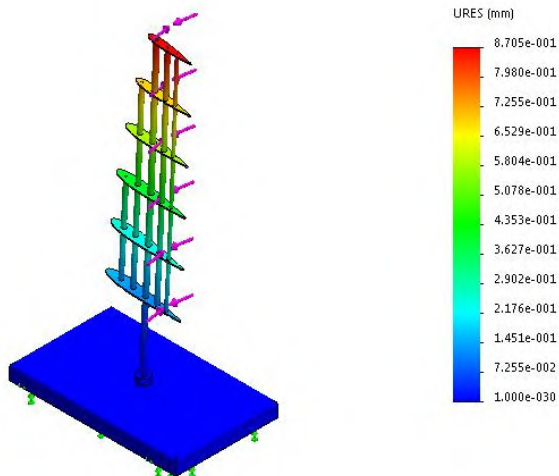
Gambar 4.49 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 30°



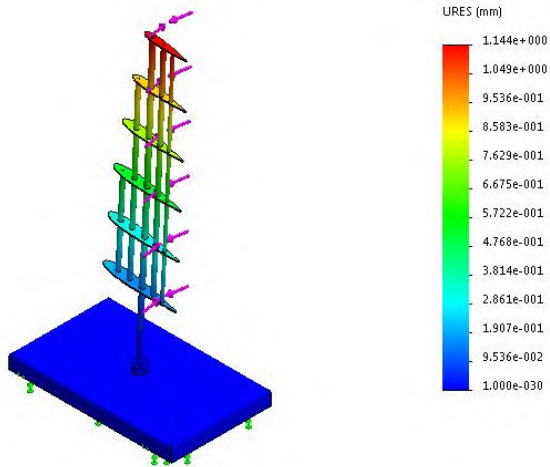
Gambar 4.50 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 40°



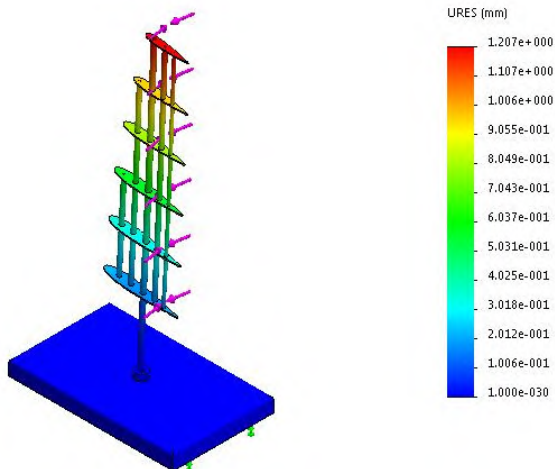
Gambar 4.51 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 50°



Gambar 4.52 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 60°



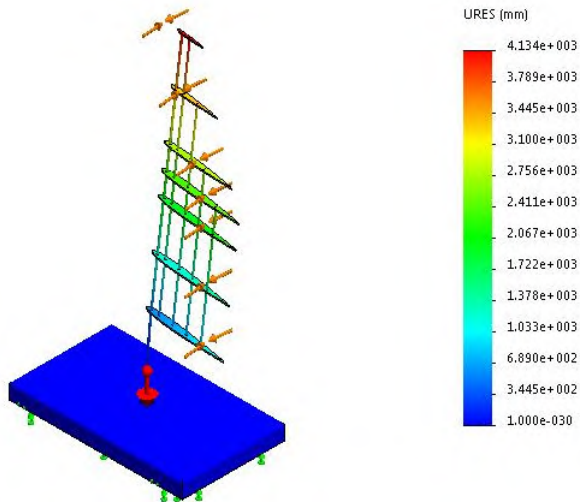
Gambar 4.53 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 70°



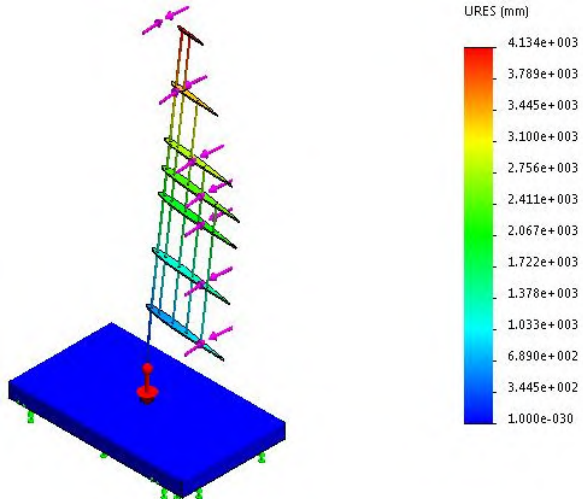
Gambar 4.54 Defromation NACA 0015 Sudut Serang 90°

Hasil simulasi menggambarkan gradasi warna yang menunjukan warna merah merupakan area yang mengalami perubahan bentuk paling maksimal dan bernilai 1,207 mm pada sudut serang 90° .

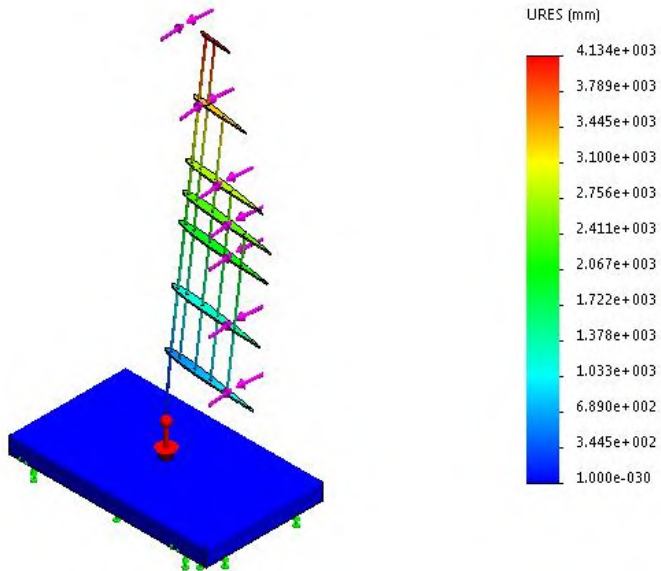
- **NACA 0009**



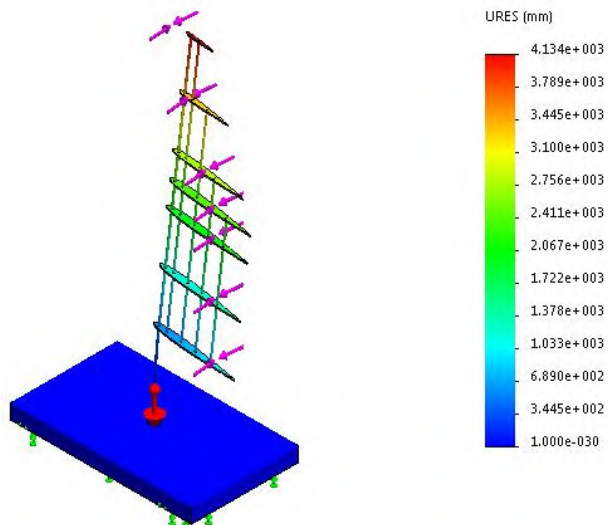
Gambar 4.55 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 5°



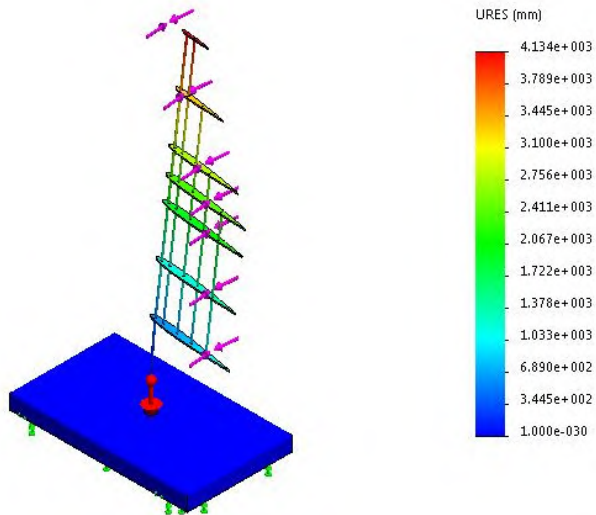
Gambar 4.56 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 10°



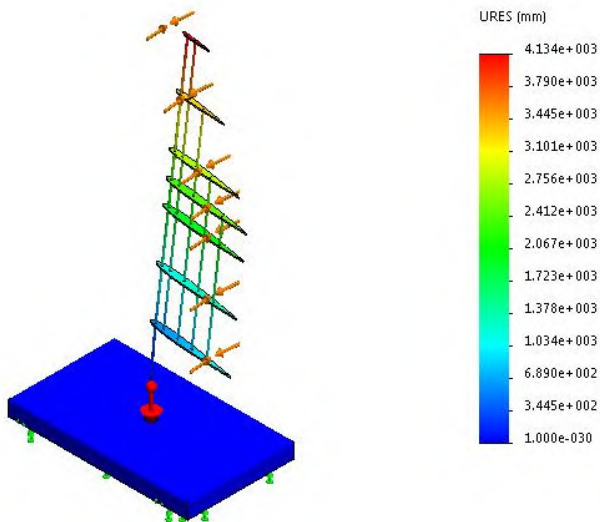
Gambar 4.57 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 15°



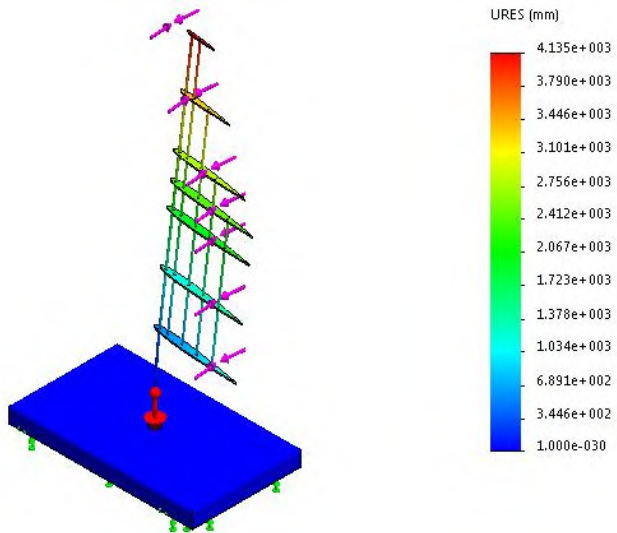
Gambar 4.58 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 20°



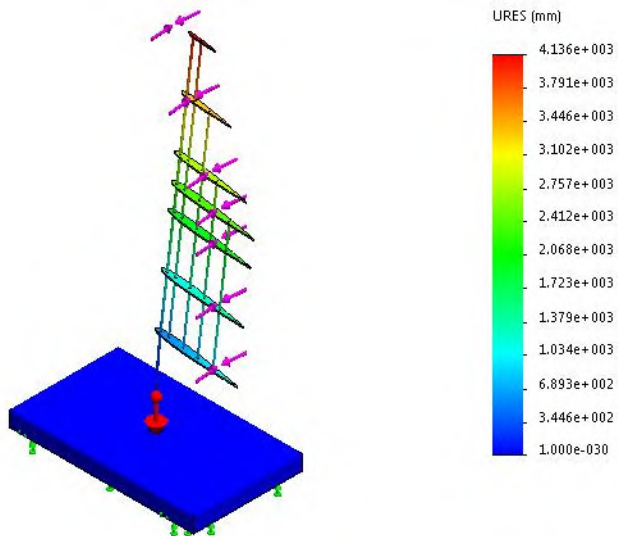
Gambar 4.59 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 25°



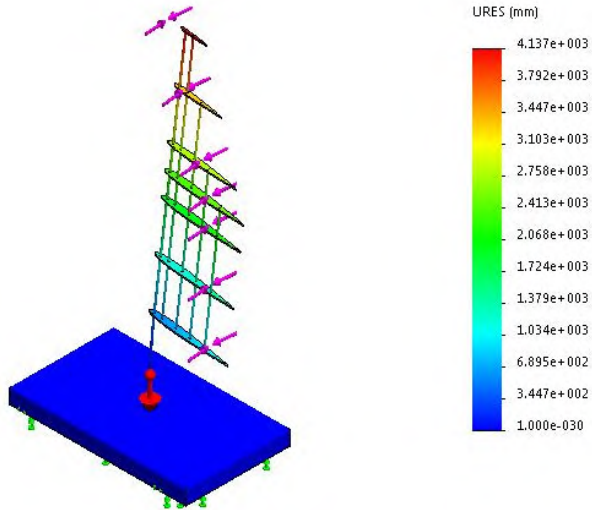
Gambar 4.60 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 30°



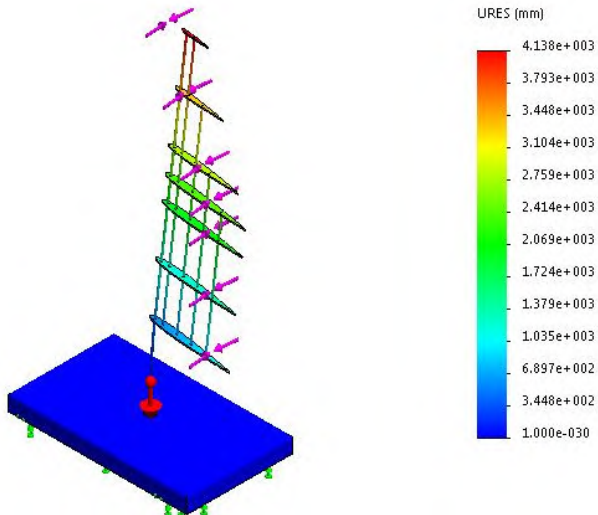
Gambar 4.61 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 40°



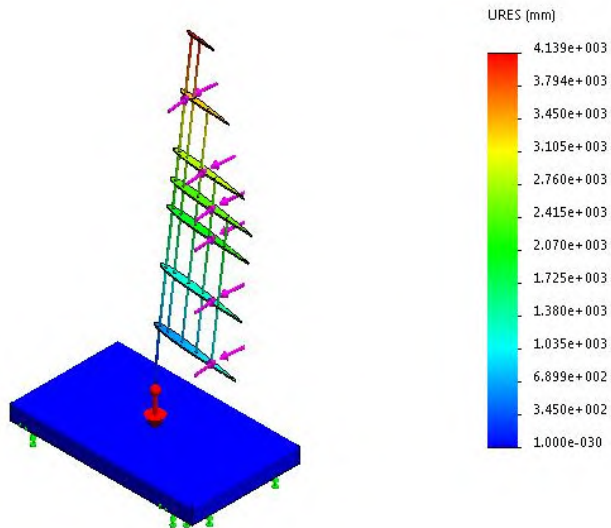
Gambar 4.62 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 50°



Gambar 4.63 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 60°



Gambar 4.64 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 70°



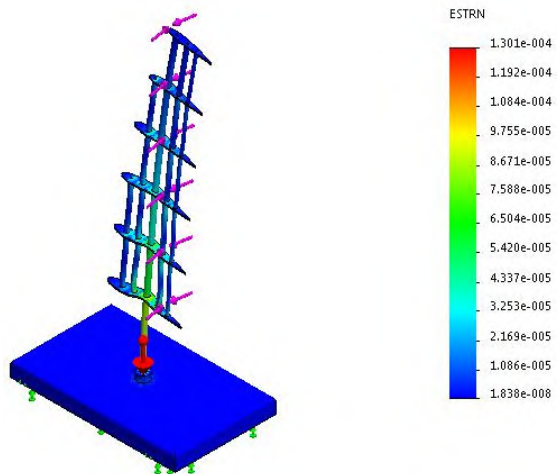
Gambar 4.65 Defromation NACA 0009 Sudut Serang 90°

Hasil simulasi menggambarkan gradasi warna yang menunjukan warna merah merupakan area yang mengalami perubahan bentuk paling maksimal dan bernilai 4,139 mm pada sudut serang 90°.

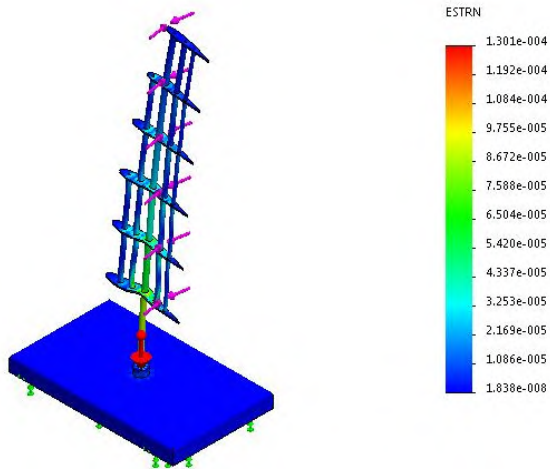
c. Laju Perubahan Displacement (*Strain*)

Regangan adalah hal yang sangat penting dan mendasar bagi para perancang dalam merancang dan meng-aplikasikan elemen konstruksi yang mengalami defleksi, maka dari itu ini adalah hasil regangan setelah simulasi.

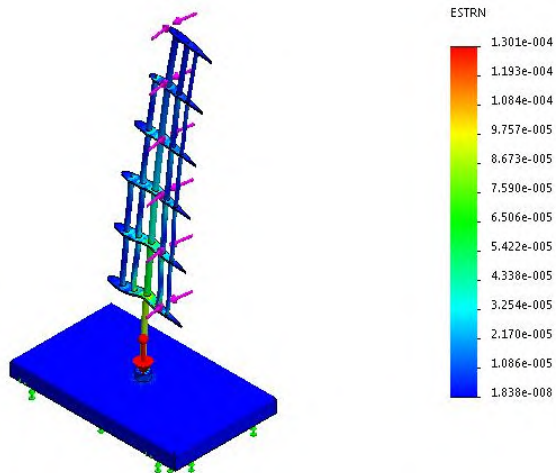
- **Naca 0015**



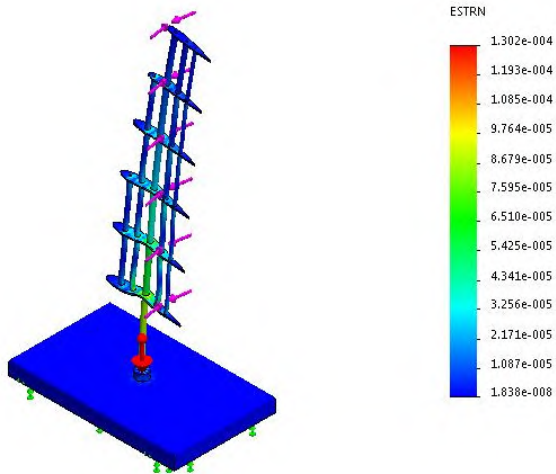
Gambar 4.66 Strain NACA 0015 Sudut Serang 5°



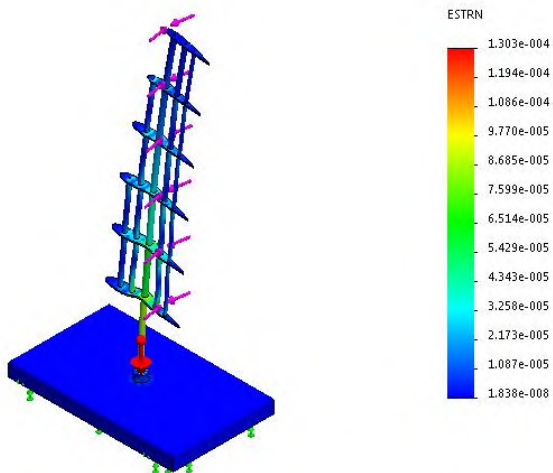
Gambar 4.67 Strain NACA 0015 Sudut Serang 10°



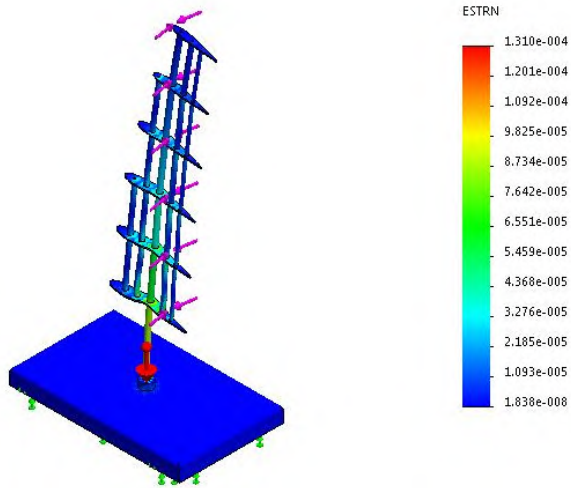
Gambar 4.68 Strain NACA 0015 Sudut Serang 15°



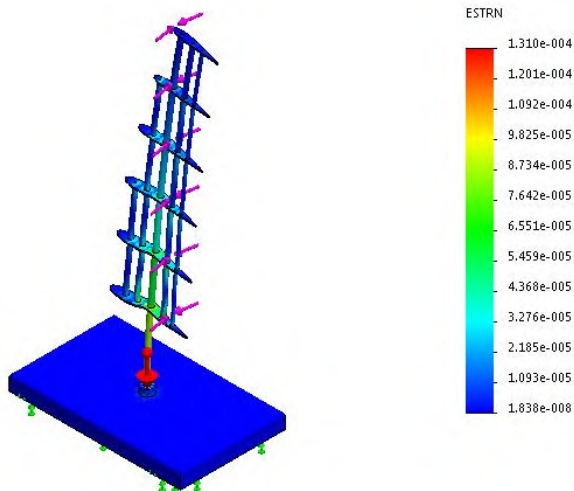
Gambar 4.69 Strain NACA 0015 Sudut Serang 20°



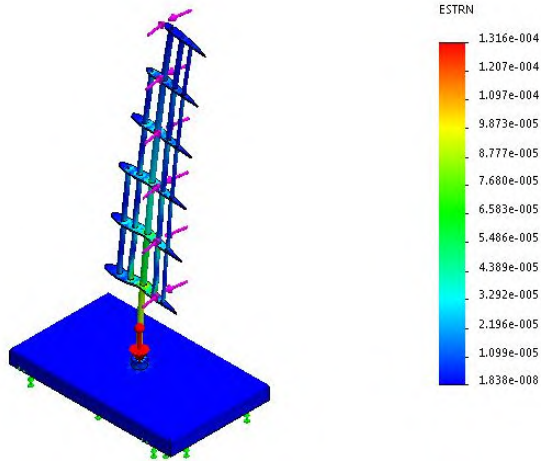
Gambar 4.70 Strain NACA 0015 Sudut Serang 25°



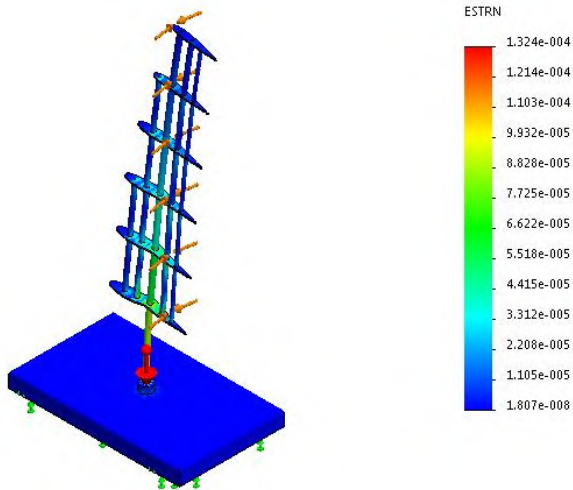
Gambar 4.71 Strain NACA 0015 Sudut Serang 30°



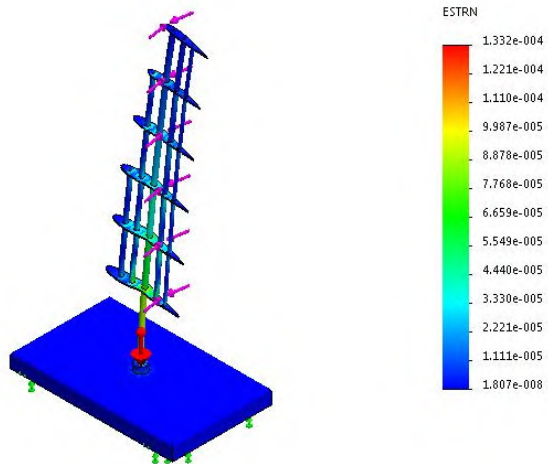
Gambar 4.72 Strain NACA 0015 Sudut Serang 40°



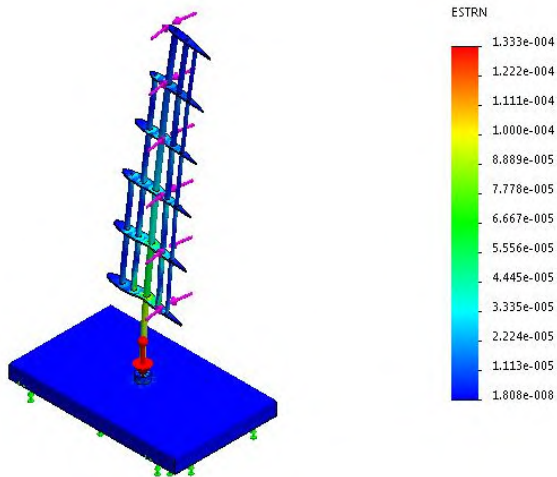
Gambar 4.73 Strain NACA 0015 Sudut Serang 50°



Gambar 4.74 Strain NACA 0015 Sudut Serang 60°



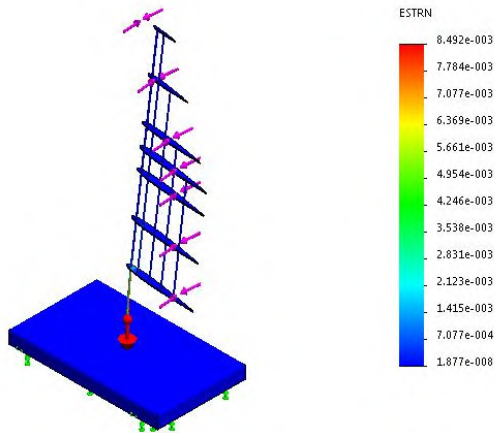
Gambar 4.75 Strain NACA 0015 Sudut Serang 80°



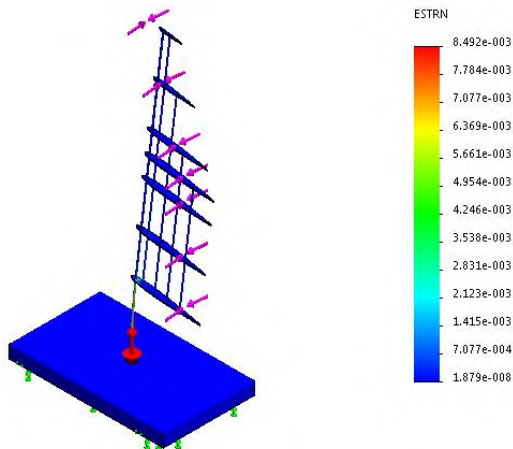
Gambar 4.76 Strain NACA 0015 Sudut Serang 90°

Hasil simulasi menggambarkan gradasi warna yang menunjukan warna merah merupakan area yang mengalami strain yang bernilai 1.333×10^{-5} pada sudut serang 90°

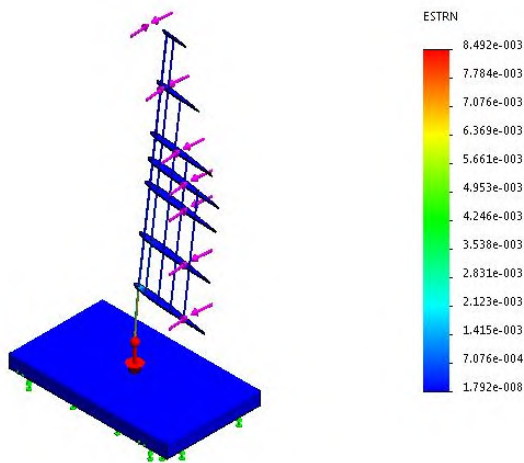
- **Naca 0009**



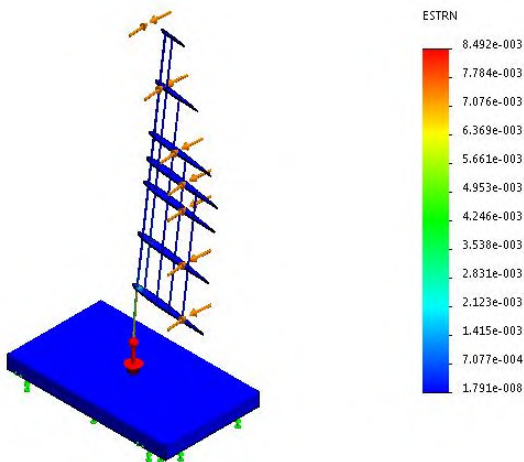
Gambar 4.77 Strain NACA 0009 Sudut Serang 5°



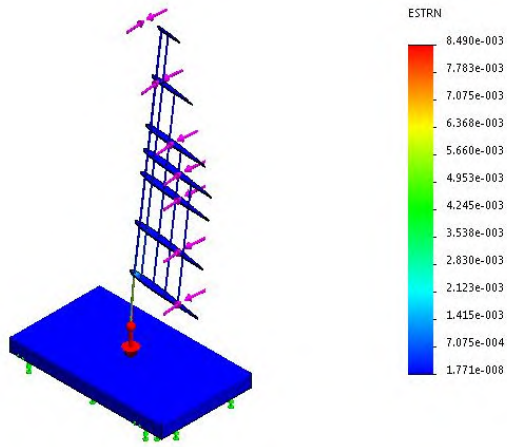
Gambar 4.78 Strain NACA 0009 Sudut Serang 10°



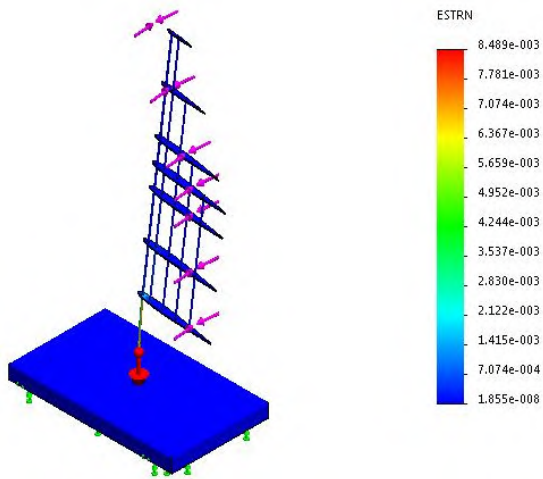
Gambar 4.79 Strain NACA 0009 Sudut Serang 15°



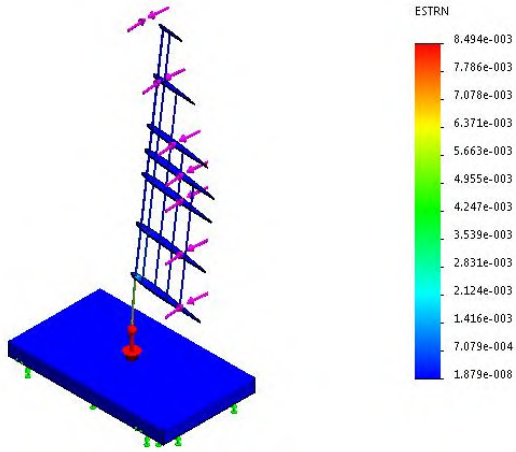
Gambar 4.80 Strain NACA 0009 Sudut Serang 20°



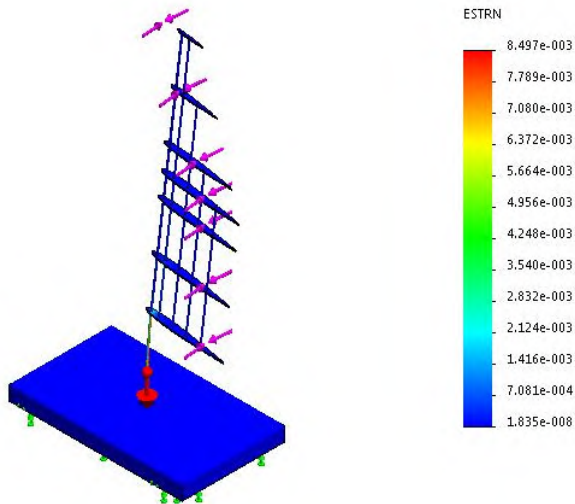
Gambar 4.81 Strain NACA 0009 Sudut Serang 25°



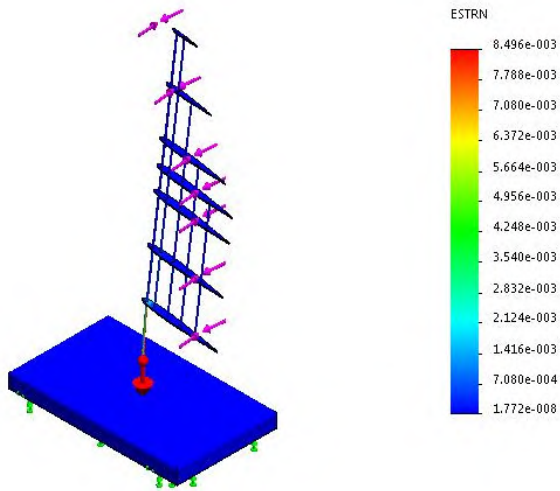
Gambar 4.82 Strain NACA 0009 Sudut Serang 30°



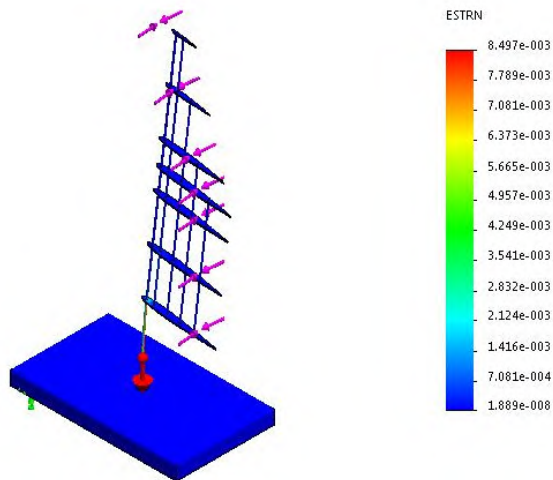
Gambar 4.83 Strain NACA 0009 Sudut Serang 40°



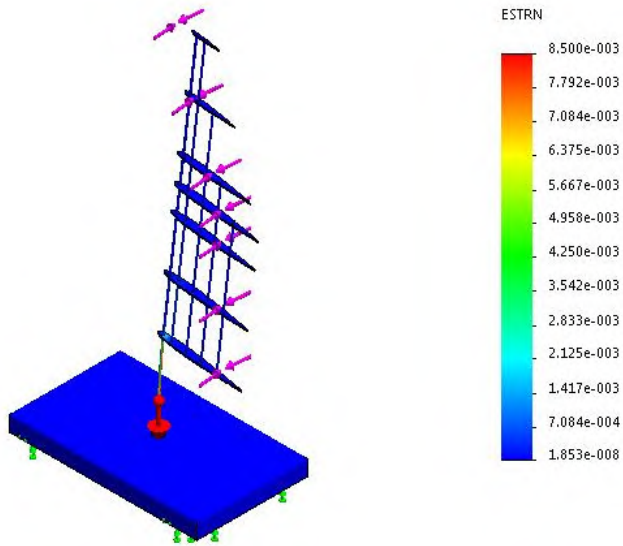
Gambar 4.84 Strain NACA 0009 Sudut Serang 50°



Gambar 4.85 Strain NACA 0009 Sudut Serang 60°



Gambar 4.86 Strain NACA 0009 Sudut Serang 80°



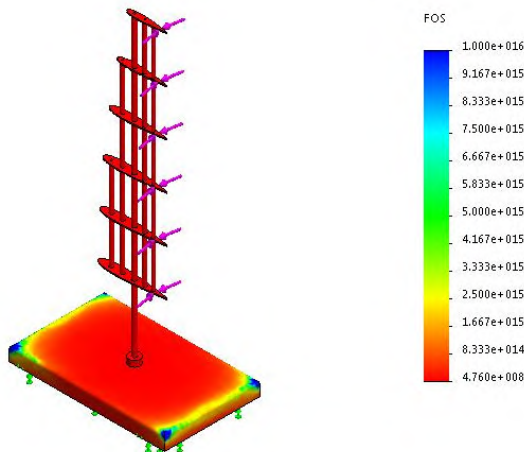
Gambar 4.86 Strain NACA 0009 Sudut Serang 90°

Hasil simulasi menggambarkan gradasi warna yang menunjukan warna merah merupakan area yang mengalami strain yang bernilai 8.500 e-003 pada sudut serang 90°

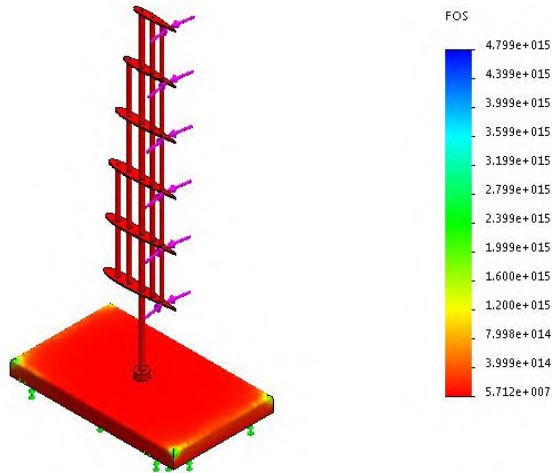
d. Faktor Keamanan (*Safety of Factor*)

Faktor keamanan merupakan patokan yang paling utama digunakan dalam menentukan kualitas dari suatu desain. Acuanannya adalah jika nilai FOS lebih dari satu dan biasanya antara 1-3 maka desain tersebut berkualitas baik, aman, dan layak untuk digunakan. Faktor keamanan juga menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan untuk menerima beban dari luar dalam hal ini adalah beban tekan. Jika nilai FOS minimal mencapai 3 digit atau lebih, maka desain tersebut aman, berkualitas baik namun harganya mahal dan cenderung mempunyai berat yang besar.

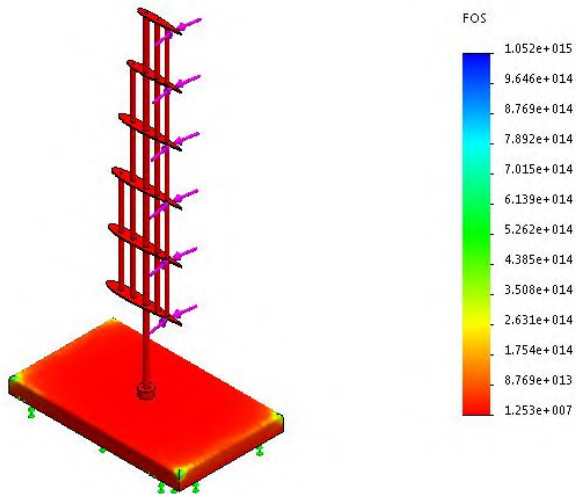
- **Naca 0015**



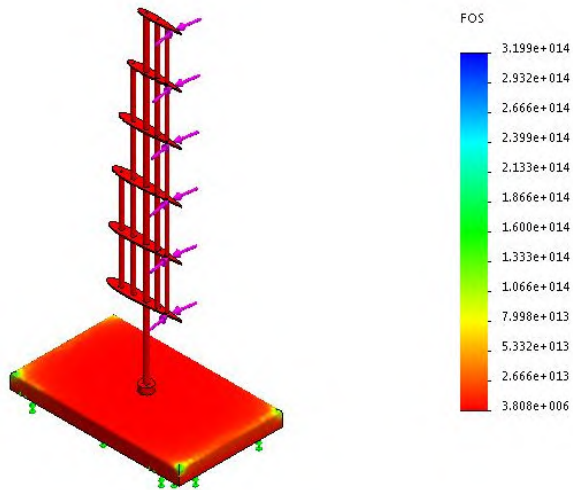
Gambar 4.87 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 5°



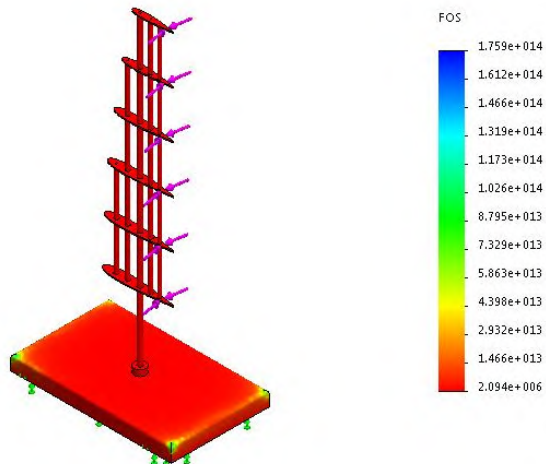
Gambar 4.88 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 10°



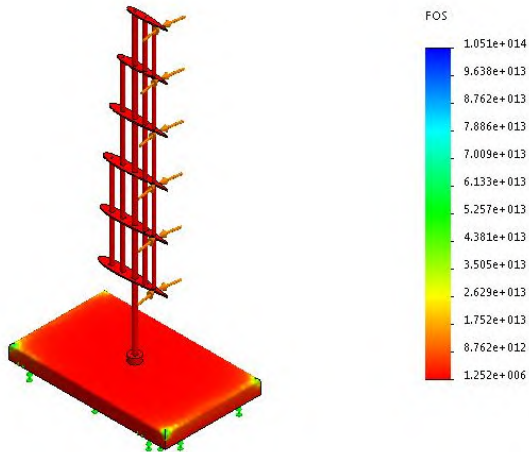
Gambar 4.89 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 15°



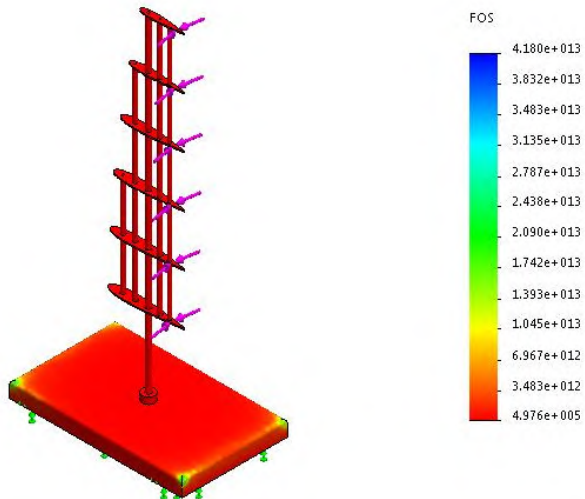
Gambar 4.90 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 20°



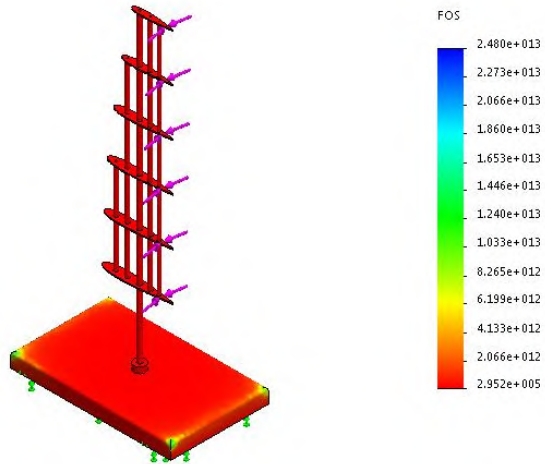
Gambar 4.91 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 25°



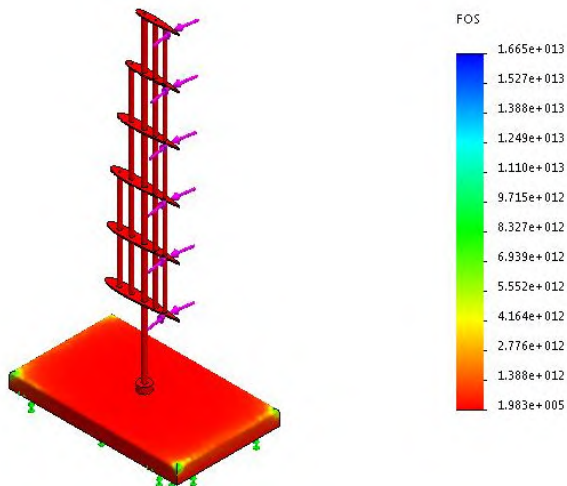
Gambar 4.92 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 30°



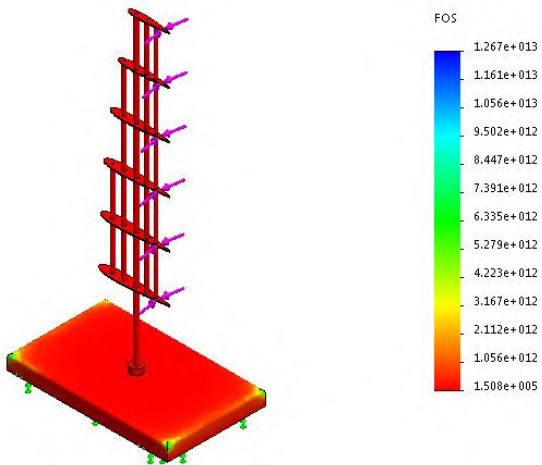
Gambar 4.93 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 40°



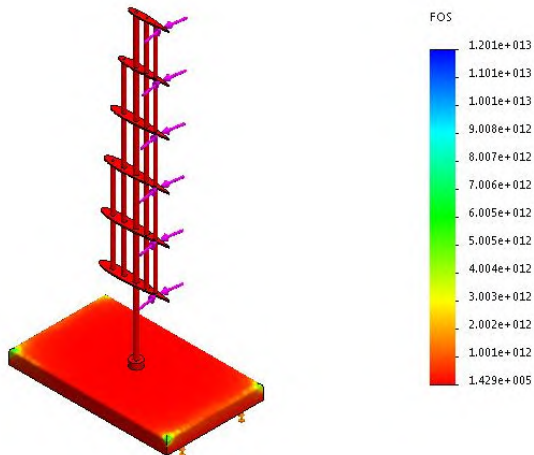
Gambar 4.94 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 50°



Gambar 4.95 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 60°



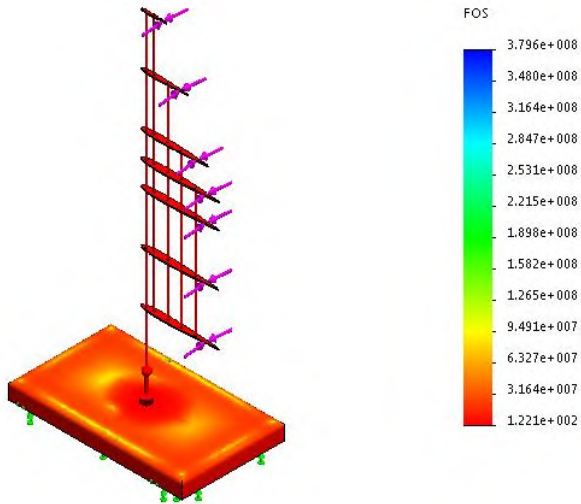
Gambar 4.96 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 70°



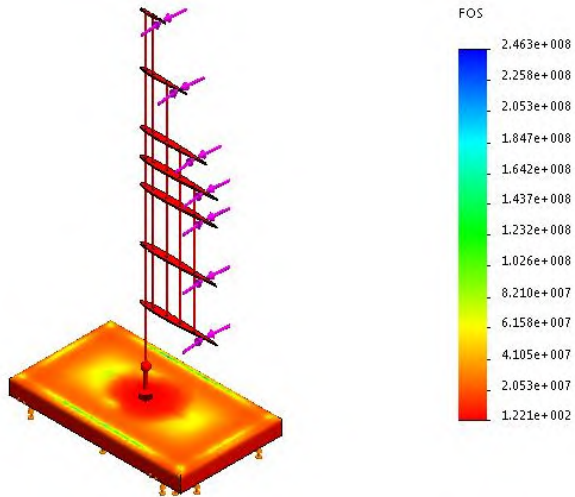
Gambar 4.97 Safety of Factor NACA 0015 Sudut Serang 90°

Factor of Safety pada simulasi model mempunyai nilai minimal $1.429\text{e}+005$ pada sudut serang 90° . Dan terletak diseluruh model.

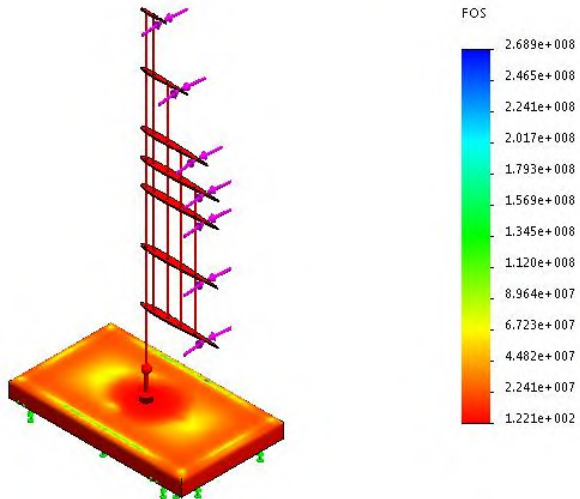
- **Naca 0009**



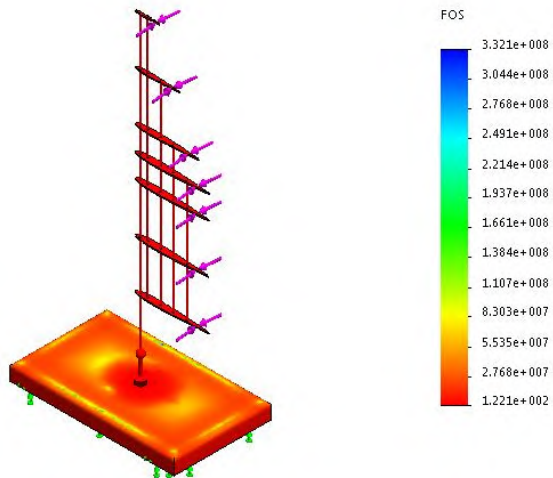
Gambar 4.98 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 5°



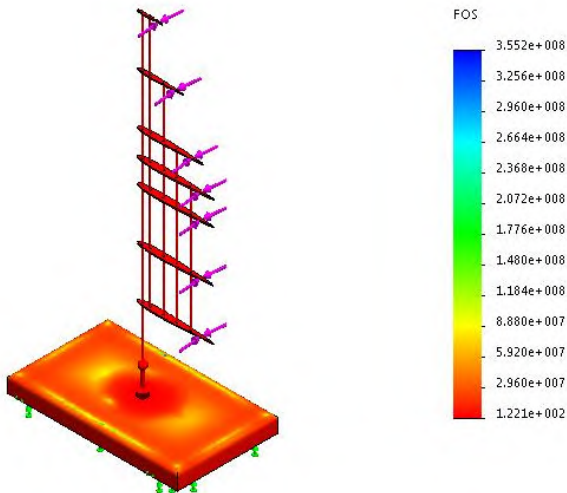
Gambar 4.99 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang
10°



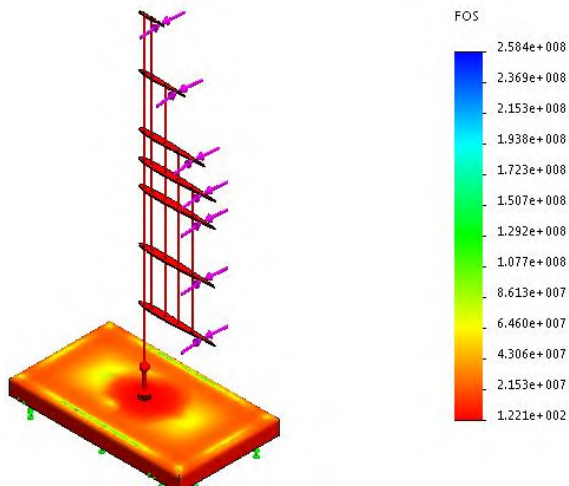
Gambar 4.100 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang
15°



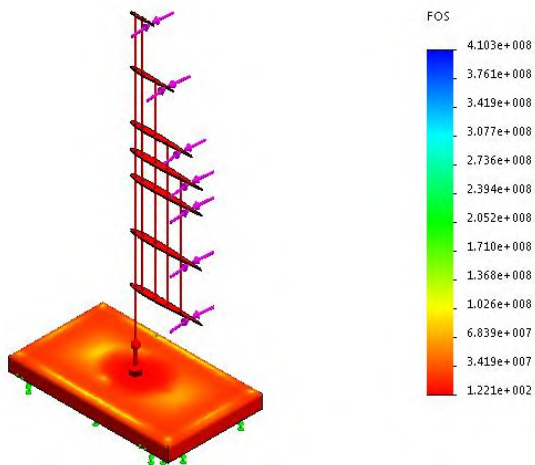
Gambar 4.101 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 20°



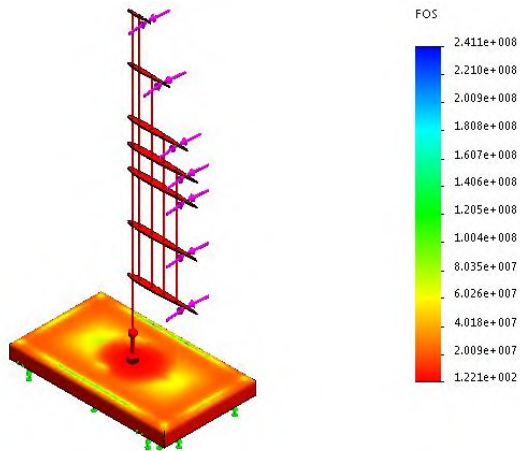
Gambar 4.102 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 25°



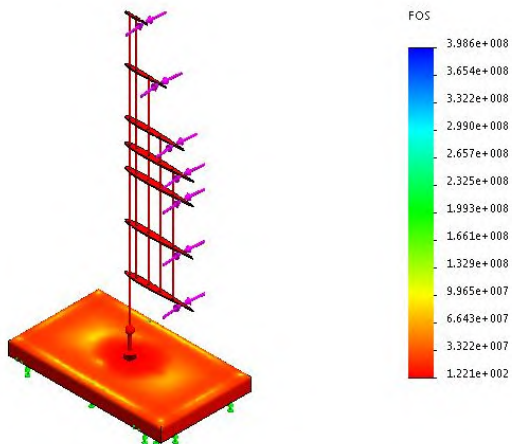
Gambar 4.103 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 30°



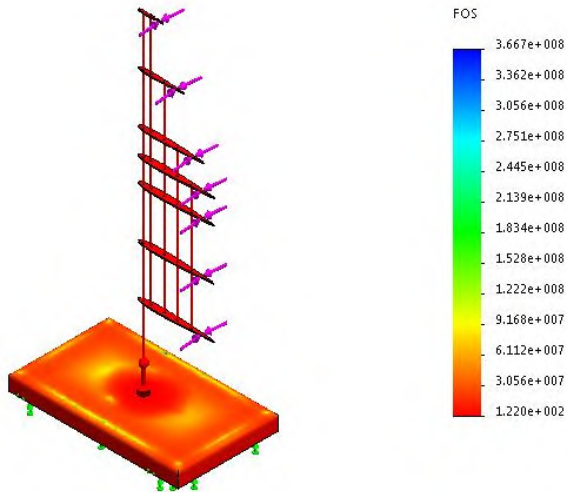
Gambar 4.104 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 40°



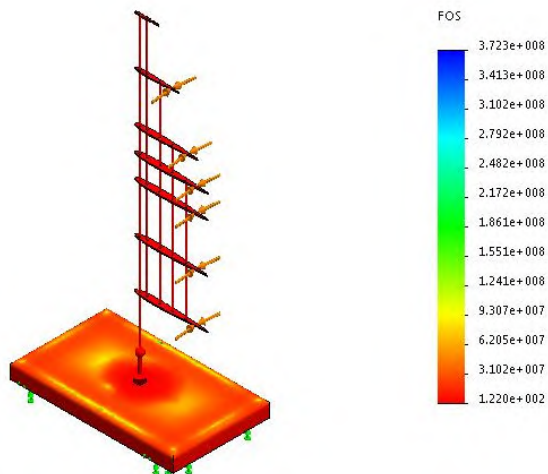
Gambar 4.105 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 50°



Gambar 4.106 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 60°



Gambar 4.107 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 70°



Gambar 4.108 Safety of Factor NACA 0009 Sudut Serang 90°

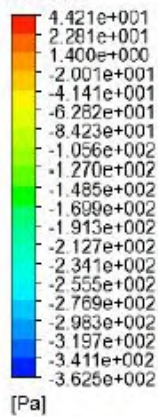
Factor of Safety pada simulasi model mempunyai nilai minimal $1.220\text{e}+002$ pada sudut serang 90° . Dan terletak diseluruh model.

LAMPIRAN

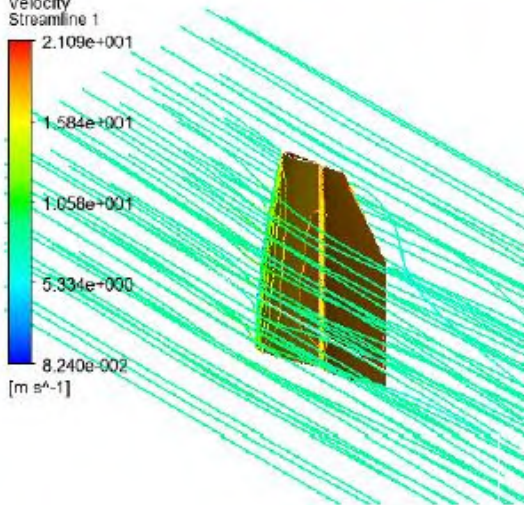
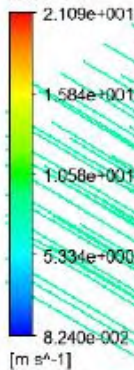
Material: E-Glass Fibre						
Composition: 54%SiO2-15%Al2O3-12%CaO						
Property	Minimum Value (S.I.)	Maximum Value (S.I.)	Units (S.I.)	Minimum Value (Imp.)	Maximum Value (Imp.)	Units (Imp.)
Atomic Volume (average)	0.0088	0.009	m ³ /kmol	537.009	549.213	in ³ /kmol
Density	2.55	2.6	Mg/m ³	159.191	162.313	lb/ft ³
Energy Content	100	120	MJ/kg	10833.9	13000.6	kcal/lb
Bulk Modulus	43	50	GPa	6.23662	7.25188	10 ⁶ psi
Compressive Strength	4000	5000	MPa	580.151	725.189	ksi
Ductility	0.026	0.028		0.026	0.028	NULL
Elastic Limit	2750	2875	MPa	398.854	416.984	ksi
Endurance Limit	2970	3110	MPa	430.762	451.067	ksi
Fracture Toughness	0.5	1	MPa.m ^{1/2}	0.459023	0.910047	ksi.in ^{1/2}
Hardness	3000	6000	MPa	435.113	870.227	ksi
Loss Coefficient	1e-005	0.0001		1e-005	0.0001	NULL
Modulus of Rupture	3300	3450	MPa	478.625	500.38	ksi
Poisson's Ratio	0.21	0.23		0.21	0.23	NULL
Shear Modulus	30	36	GPa	4.35113	5.22136	10 ⁶ psi
Tensile Strength	1950	2050	MPa	282.824	297.327	ksi
Young's Modulus	72	85	GPa	10.4427	12.3282	10 ⁶ psi
Glass Temperature	820	850	K	1016.33	1070.33	°F
Latent Heat of Fusion			kJ/kg			BTU/lb
Maximum Service Temperature	620	630	K	656.33	674.33	°F
Melting Point			K			°F
Minimum Service Temperature	0	0	K	-459.67	-459.67	°F
Specific Heat	800	805	J/kg.K	0.619087	0.622956	BTU/lb.F
Thermal Conductivity	1.2	1.35	W/m.K	2.24644	2.52725	BTU.ft/h.ft ² .F
Thermal Expansion	4.9	5.1	10 ⁻⁶ /K	8.82	9.18	10 ⁻⁶ /°F
Breakdown Potential	15	20	MV/m	381	508	V/mil
Dielectric Constant	6.13	6.33		6.13	6.33	NULL
Resistivity	1e+022	1e+023	10 ¹⁸ ohm.m	1e+022	1e+023	10 ¹⁸ ohm.m

Model 3 dan 3

Pressure
Contour 1



Velocity
Streamline 1



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Kesimpulan

1. Desain layar foil yang digunakan adalah desain layar foil yang kaku. Dalam satu perahu menggunakan dua layar foil. Bagian depan menggunakan NACA series 0015 dan yang belakang menggunakan NACA series 0009.
2. Pada layar foil yang menggunakan NACA 0015 mempunyai nilai tegangan maksimal hingga 41.972,84 N/m², nilai perubahan bentuk (*deformation*) maksimal hingga 1,207 mm, nilai strain 1.333 e-005 dan nilai *safety of factor* minimal 1.429e+005 pada sudut serang 90°.
3. Pada layar foil yang menggunakan NACA 0009 mempunyai nilai tegangan maksimal hingga 49.180.144 N/m², nilai perubahan bentuk (*deformation*) maksimal hingga 4,139 mm, nilai strain 8.500 e-003 dan nilai *safety of factor* minimal 1.220e+002 pada sudut serang 90°.
4. Desain perancangan konstruksi dan struktur layar foil tidak melebihi batas maksimal bahan yang digunakan.

1.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai (*boundary*) selimut untuk layar foil ini, karena perancangannya hanya merancang konstruksi tulang rusuk dan tiang-tiang penyangga.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai tahanan perahu yang menggunakan layar foil sebagai penggeraknya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Warisman, B.A, 2015, Optimasi Gaya Dorong Layar Foil Terhadap Kapal Layar Dengan Menggunakan CFD, Surabaya.
- [2] H. Keeler, 1968, Full Airfoil Sail, US Patent 3381647
- [3] Bertin, Jhon J & Cummings, Russell M. 2009. *Aerodynamics for Engineers*. United States of America: Pearson Prentice-Hall
- [4] D. Cook, Robert. 1989, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, University of Wisconsin-Madison
- [5] Dan B. Marghitu. 2001, *Mechanical Engineer's Handbook*, Academy Press, USA.
- [6] Ghulamz. 2012. *Solidwork 3D CAD*. <http://ghulamzoldies.wordpress.com> (diakses 14 September 2015)
- [7] Wiryomartono S. 1967. *Konstruksi Statis Tertentu*. Jogjakarta: Bahan-Bahan Kuliah Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
- [8] Tuakia, Firman. 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika

BIODATA PENULIS



Yustinus Hendro Raharjo merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang lahir di Tuban pada tanggal 14 September 1993. Saat ini penulis tinggal di kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember bersama keluarganya. Penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SDK Maria Fatima Jember, SMPK Maria

Fatima Jember, SMAK Santo Paulus Jember dan pada tahun 2011 penulis melanjutkan studi di S1 jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS. Penulis menulis Tugas Akhir bidang Marine Manufacturing & Design (MMD)